



НАУКА - образованию, производству, ЭКОНОМИКЕ

1



**Материалы Шестой
международной
научно-технической
конференции**

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

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

**Материалы Шестой международной
научно-технической конференции
В 3 томах**

Том 1

**Минск
2008**

08

УДК 001:[37+658+338](063)

~~ББК 72я43Т~~

Н34

Редакционная коллегия:

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

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

А.С. Калиниченко – д-р техн. наук

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

**Технические и прикладные
науки**

Электроэнергетика

**Интервальная оценка получасового максимума нагрузки
промышленного предприятия**

Анищенко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Интервальная оценка получасового максимума активной нагрузки промышленного предприятия определяется вероятностным методом по известной формуле

$$P_{\max} = P_{\text{cp}} + k \sigma,$$

где P_{cp} – среднее значение получасовой нагрузки; σ – среднеквадратичное отклонение получасовых нагрузок от среднего значения; k – квантиль, характеризующая коридор неопределенности получасового максимума. Интервальная оценка имеет по сравнению с точечной оценкой более богатую семантику и повышает содержательность трактовки получасового максимума нагрузки. Это открывает возможность обосновать лимит мощности предприятия в часы пиков нагрузки энергосистемы. Однако, если значения P_{cp} и σ определяются достаточно точно в результате вероятностной обработки графиков нагрузки предприятий, то выбор квантиля k носит субъективный характер. Ценность интервальной оценки зависит от его обоснованного выбора. Попытки решения этой задачи, исходя из сугубо метрологических соображений (правило "трех сигм" и т.п.), не приводят к убедительным для электриков результатам. Предлагается выбирать квантиль k исходя из технологической сути решаемой задачи, а именно, влияния квантиля и соответственно заявляемого договорного максимума $P_3 = P_{\max}$ на затраты предприятия, связанные с прохождением пиков нагрузки энергосистемы. При двухставочном тарифе выбор параметров k и P_{\max} производим по критерию минимума изменения суммарных затрат предприятия, для случаев, отличающихся отсутствием или наличием потребителей-регуляторов, ограничивающих получасовой максимум нагрузки предприятия при прохождении пиков нагрузки энергосистемы, с учетом ущерба от невыпущенной продукции. Сравнение этих затрат позволяет принять решение о целесообразности выявления и использования потребителей-регуляторов.

Алгоритмизация управления автоматизированными трансформаторными подстанциями промышленных предприятий

Трушников А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Как правило, в процессе работы промышленных предприятий, вопросам рациональной эксплуатации силовых трансформаторов 6-10/0,4 кВ не уделяется должного внимания. Под рациональной эксплуатацией в данном случае следует понимать такую работу оборудования, при которой потери электроэнергии минимальны и соблюдаются требования всех нормативных документов. Поэтому для управления и контроля трансформаторных подстанций предлагается использовать автоматизированные системы, основанные на промышленных программируемых логических контроллерах (ПЛК).

Такие ПЛК предлагаются широким спектром фирм-производителей, например, Allen Bradley, B&R, Siemens и многими другими. ПЛК имеют достаточные объемы встроенной физической памяти и внешней периферии (аналого-цифровые преобразователи, коммуникационные порты, человеко-машинный интерфейс) для работы по относительно сложным алгоритмам при этом обеспечивая простой интерфейс для эксплуатационного персонала. Так, для управления и контроля силовых трансформаторов 6-10/0,4 кВ на двухтрансформаторных подстанциях целесообразно использовать алгоритм управления, который будет учитывать максимально возможное параметров эксплуатации: предыдущие и текущие значения нагрузок, положения коммутационных аппаратов, температуру окружающей и, по возможности, охлаждающей среды, уровни напряжения, уровни вибрации и др.

В алгоритме должны быть предусмотрены режимы ручного, автоматизированного и автоматического управления. Это необходимо, например, во время ремонта или сезонного останова производства. Следует уделить должное внимание надежности алгоритма и его поведению в случае программного «зависания», что влияет на все показатели надежности электроснабжения в целом.

Контроль достоверности измерений мощностей при наличии "темных и серых пятен" в электрических сетях

Анищенко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Достоверными считаются результаты измерений мощностей, не содержащие грубых погрешностей, т.е. не выходящие за пределы классов точности измерительной аппаратуры. Возможность оперативного обнаружения недостоверных показаний ваттметров зависит от показателя топологической наблюдаемости электрической сети

$$q = r + m - S,$$

где r – число уравнений связи между измеряемыми переменными, S – общее число переменных, m – число измеряемых переменных ($m \leq S$).

Понятие топологической наблюдаемости имеет смысл для электрических сетей, поскольку в них в каждое уравнение связи входят не все переменные. В зависимости от величины показателя q имеют место информационная избыточность ($q > 0$), полнота информации ($q = 0$) или ее дефицит ($q < 0$).

Информационная избыточность достигается за счет уравнений связи, что дает возможность рассчитать псевдоизмерения и сравнить их с показаниями ваттметров. Объединенная система, составленная из исходных r уравнений и дополнительных m уравнений, в данном случае переопределена ("светлое пятно"). Это позволяет контролировать достоверность измерений и при отсутствии грубых погрешностей осуществлять их статистическое оценивание. При $q = 0$ система определена ("серое пятно"), контроль достоверности невозможен, но дорассчитываются неизмеряемые переменные. Если $q < 0$, то система недоопределена ("темное пятно") и возможно только определение функциональных связей между неизмеряемыми переменными. При неравномерном расположении ваттметров электрическая сеть представляет композицию "светлых, серых и темных пятен" Такая классификация электрических сетей позволяет оценить их наблюдаемость и выбрать число и размещение измерительной аппаратуры.

**Момент инерции тяговых электродвигателей троллейбусов:
теория и эксперимент**

Галямов П. М., Сацукевич В.Н.

Белорусский национальный технический университет
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Постановка задачи. Для решения задач проектирования и исследования троллейбусов необходимо знать момент инерции (МИ) их тяговых электродвигателей, численное значение которого не приводится ни в справочниках, ни в заводских каталогах. В этой связи была поставлена задача разработать методику прогнозирования МИ троллейбусных тяговых электродвигателей по их каталожным данным, конечным результатом которой должна стать формула для прогнозирования величины МИ по номинальной величине крутящего момента, поскольку последний определяется на начальной стадии расчета троллейбуса.

Получение указанной формулы состояло из двух этапов.

Аналитический этап заключался в установлении вида теоретической зависимости между МИ тягового электродвигателя J и его крутящим моментом $M_{\text{щ}}$ часового режима (для тяговых двигателей городского электротранспорта номинальным режимом является часовая). Эта зависимость степенная [1, с. 34; 2]:

$$J = xM_{\text{щ}}^y, \quad (1)$$

Экспериментальный этап включал опытное определение МИ электродвигателей ДК-210А3, ДК-211БМ и ДК-213. На основе результатов эксперимента [2] и опубликованных данных по двигателям ДК-202Б и ДК-207А был проведен подбор параметров для (1) дающих наилучшее приближение к опытным данным.

Полученная формула имеет следующий вид: $J = M_{\text{щ}}^{1,5} / 10000$, и позволяет с погрешностью до 8,13% определять МИ тяговых электродвигателей троллейбусов мощностью от 78 до 170 кВт.

Литература

1. Гейлер, Л.Б. Электропривод в тяжелом машиностроении / Л.Б. Гейлер. – Москва: Машгиз, 1958. – 588 с.
2. Галямов, П.М. Определение момента инерции вращающихся масс тяговых электродвигателей троллейбусов / П.М. Галямов // Механика машин, мех. и мат-лов.–2008.– № 1–С. 42–45.

О коэффициенте полезного действия асинхронных двигателей и трансформаторов

Гончар А.А.

Белорусский национальный технический университет

Как известно, качество преобразования одного вида энергии в другой оценивается параметром – коэффициент полезного действия – η . Установлено также, что к.п.д. – безразмерная величина, как это следует из выражения к.п.д. по мощности, имеющего вид для асинхронного двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%,$$

где P_2 – полезная механическая мощность; P_1 – подводимая к двигателю электрическая мощность. В асинхронном двигателе к.п.д. – это показатель преобразования поступающей из сети электрической мощности в механическую на валу.

Что касается трансформаторов, то коэффициент полезного действия для них определяется по отношению активных мощностей

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%,$$

где P_2 – активная мощность на вторичной обмотке; P_1 – активная мощность, подводимая к первичной обмотке. В силовых трансформаторах нет преобразования одного вида энергии в другой, как в электрических – вращающихся машинах. Имеется только преобразование электрической энергии одних параметров в другие.

Определение η в трансформаторах как отношение активных мощностей обмоток приводит к тому, что при одном и том же коэффициенте загрузки трансформатор может работать с различными значениями коэффициента полезного действия.

В асинхронных же двигателях в отличие от трансформатора при одном и том же коэффициенте загрузки будет один и тот же коэффициент полезного действия.

Задачи модернизации подстанций 110/10кВ электрических сетей и основные пути их решения

Дроздов И.В.

Белорусский национальный технический университет

Модернизация оборудования является одним из важнейших условий успешной, эффективной и безаварийной эксплуатации оборудования в любой отрасли. Она необходима и энергетике, особенно в тех её частях, где оборудование давно отслужило свой физический и моральный ресурс, где аварийность и сниженная безопасность работы установок и устройств противоречат требованиям норм и правил.

Модернизация должна быть, прежде всего, эффективна с экономической стороны. На сегодняшний день из-за дефицита финансовых средств в энергетике вкладываемые средства должны давать максимальную отдачу. Экономичность достигается прежде всего выбором более простых схемных решений, но при этом увеличение надёжности модернизируемых объектов также является немаловажным фактором при модернизации электроустановок.

Простым примером такой модернизации является перевод оборудования подстанции с 35/6кВ на напряжение 110/10кВ с применением современного оборудования на элегазовой и вакуумной изоляции с применением цифровых защит и комплектно поставляемого оборудования. Комплектность оборудования улучшает производственные показатели и увеличивает эффективность эксплуатации электроустановок.

Продление срока работы отдельных участков и увеличение ресурса эксплуатации установок, как задачи модернизации, прежде всего, должны использоваться для электроустановок со схемами, которые ещё не успели морально и физически устареть. Внедрение новых технологий – одна из основных задач модернизации, позволяющая энергетике идти в ногу со временем. Эта задача позволяет оставаться элементам энергосистемы эффективными во всех направлениях: эксплуатационном, экономическом и т.д. Увеличение производительности труда – это одно из основных следствий внедрения новых технологий.

Особенности расчета осветительных сетей с газоразрядными лампами при использовании электронных пускорегулирующих аппаратов

Козловская В.Б., Радкевич В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для зажигания, разгорания и обеспечения устойчивого режима работы газоразрядных ламп низкого давления широко применяются электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА), осуществляющие питание ламп на повышенной частоте и обладающие рядом преимуществ по сравнению с электромагнитными. По мере снижения стоимости и повышения надежности работы этих устройств, в том числе отечественного производства, они должны полностью вытеснить последние. Существуют различные типы ЭПРА, отличающиеся технико-экономическими характеристиками, схемными решениями и набором функций, которые они могут выполнять (например, регулирование светового потока). В связи с этим возникает вопрос правильного выбора типа электронного устройства, а также расчета осветительной сети с учетом потерь электроэнергии и уровня компенсации реактивной мощности в них.

При определении сечений проводников осветительной сети с газоразрядными лампами низкого давления, оснащенными ПРА, расчетная нагрузка в общем виде вычисляется по формуле

$$P_{po} = K_{co} \sum_{i=1}^n (K_{ПРАi} \cdot P_{номi}),$$

где K_{co} – коэффициент спроса осветительной нагрузки; $K_{ПРАi}$ – коэффициент, учитывающий потери в ПРА i -й газоразрядной лампы; $P_{номi}$ – номинальная мощность i -й газоразрядной лампы; n – количество ламп, питаемых данной линией.

Величина потерь в ПРА газоразрядных ламп низкого давления в основном определяется схемой их включения и составляет около 20-30% мощности лампы ($K_{ПРА} = 1,2-1,3$). Задача точного определения потерь в ЭПРА (т.е. значения $K_{ЭПРА}$) является неоднозначной и ее решение зависит от конкретного типа принятого устройства. Однако для приближенных расчетов можно принимать $K_{ЭПРА} = 1,1$.

**Перспективы ветроэнергетики
в Беларуси – 2008 год**

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

Белорусский национальный технический университет

Освоение возобновляемых источников энергии и в особенности ветроэнергетики особенно важно для Беларуси с точки зрения обеспечения энергетической безопасности страны.

Появление на рынке ветроэнергетической техники установок континентального базирования мощностью 1500-2000 кВт с возможностью установки на высоте 90-110м изменяет возможности ветроэнергетики в Беларуси.

На карте ветров Беларуси отмечены главные зоны, где среднегодовые фоновые скорости ветра составляют 4-5 м/с. Это районы, расположенные на Минской возвышенности в направлении от Минска на запад в сторону Гродно и Новогрудка, северо-восточные районы вдоль направления Витебск – Полоцк, северные районы на границе с Латвией, районы Пинска, Кричева Климовичей. Исследования показали, что на территории страны существуют зоны, площадки на возвышенностях и на высотах, где среднегодовые скорости ветра составляют 4,8-6,2 м/с. Таких площадок исследователи насчитывают 1840. Существует технико-экономическая целесообразность и выгодность строительства ВЭС на территории Беларуси при наличии стимулирующего законодательства.

Страна располагает значительными ветроэнергетическими ресурсами, достаточными для обеспечения 10-20% требуемой электроэнергии при полной окупаемости затрат на создание ветроэлектростанций.

Предпочтительно внедрение ВЭУ 1500-2000 кВт с высотой установки 70-110 м и с расчётной скоростью ветра 9-11 м/с. Целесообразен выбор ВЭУ с прямоприводным или редукторным асинхронным генератором. Предпочтительно соединение ВЭУ с сетью через статический преобразователь частоты, который обеспечивает возможность работы ВЭУ с переменной частотой вращения и упрощает пусковые процессы.

Новая конструкция генератора ветроэнергетической установки

Олешкевич М.М., Макоско Ю.В., Олешкевич В.М.
Белорусский национальный технический университет

Предлагаемая конструкция генератора переменного тока может быть использована в качестве прямоприводного тихоходного, многополюсного асинхронного или синхронного ветрогенератора.

Известные электрические машины переменного тока с однослойной обмоткой статора (якоря) выполняются с числом пазов на полюс и фазу не менее 2. Они отличаются сложностью конструкции обмотки, особенно при большом числе полюсов и пазов статора, имеют несинусоидальную форму кривых ЭДС и МДС, плохие энергетические показатели; применяется только в качестве асинхронных двигателей малой мощности. Другие электрические машины переменного тока с двухслойными обмотками отличаются сложностью конструкции двухслойной обмотки с укороченным шагом и распределенной с числом пазов на полюс и фазу не менее 2.

Для упрощения схемы и конструкции обмотки была разработана электрическая машина переменного тока, содержащая ротор и статор, состоящий, по меньшей мере из двух аксиальных пакетов с пазами, с обмоткой, расположенной в пазах, пазы аксиальных пакетов статора сдвинуты по окружности друг относительно друга на угол в пределах от 0,43 до 0,60 пазового деления, пазы каждого пакета скошены на 1,2 пазового деления при сдвиге пакетов на 0,43 пазового деления и на 0,86 пазового деления при сдвиге пакетов на 0,6 пазового деления.

Благодаря этому в обмотке подавляются 5-я и 7-я и кратные им гармоники ЭДС (МДС), и значительно ослабляются 11,13 и кратные им гармоники без укорочения шага обмотки и без распределения по пазам. Обмотка может быть выполнена с диаметрально противоположным шагом, однослойной, и сосредоточенной с числом пазов на полюс и фазу, равным единице.

Такое выполнение генератора обеспечивает упрощение схемы и конструкции обмотки.

**Автоматизированная система комплексного учета
потребляемых энергоресурсов жилого дома**

Павловец В.В.

Белорусский национальный технический университет

На объектах жилищного строительства, а также на промышленных объектах, объектах энергетики и иных объектах широко внедряются элементы автоматизированной системы комплексного учёта потребляемых энергоресурсов, включая учёт электроэнергии, тепловой энергии, горячей и холодной воды, газа.

Автоматизированная система комплексного учёта потребляемых энергоресурсов (АСКУЭ) позволяет обеспечить сбор с территориально распределённых объектов учёта энергоресурсов, передачу в расчётные центры (энергосбыт, жилищную организацию, службу главного энергетика), хранение и представление в виде согласованных выходных форм метрологически аттестованной информации по стандартизованному международному протоколу. Программа верхнего уровня АСКУЭ может быть «состыкована» с расчётной программой энергосбытовой организации. В этом случае решается задача внедрения автоматизированного разнесения показаний приборов коммерческого учёта энергоресурсов по лицевым счетам абонентов, а также распечатки и выставления абонентам счетов на оплату потреблённых энергоресурсов.

Внедрение АСКУЭ в многоквартирных жилых домах позволят владельцам (нанимателям) жилых помещений применять в расчётах за потребляемые энергоресурсы новые тарифные системы, позволяющие снизить величину оплаты за потребляемые ресурсы. Вместе с тем, для организации-владельца жилого дома (муниципалитета) появляется возможность составления балансов по каждому виду энергоресурсов, что позволит решить проблему выявления источников их безучётного потребления (хищений).

Ориентировочная стоимость АСКУЭ при её внедрении в многоквартирных жилых домах исчисляется из расчёта 100 USD на одну точку учёта.

**О группе внедрения
инвестиционного проекта в энергетике**

Поспелова Т.Г., Потоцкая М.С., Кузьмич С.В.
Белорусский Национальный технический университет,
КУП «БЕЛВИЭЦ»

Анализ мировой практики свидетельствует, что эффективной формой организации управления внедрением инвестиционных проектов является группа управления проектом (ГУП). Авторами рассмотрены 4 варианта использования ГУП в организационно-правовых структурах осуществления проектов: на основе практики управления Проектом модернизации Оршанской ТЭЦ; ГУП на базе подразделения управления инвестиций и капитального строительства ГПО «Белэнерго»; ГУП в составе инженерной организации; ГУП в составе РУП «Управление инвестициями в энергетике». Анализ показал, что оптимальным на ближайшую перспективу является последний вариант. Предложена структура РУП и сравнены альтернативы его создания: инженерная организация и единый заказчик. Специализированное предприятие РУП «Управление инвестиционными проектами в энергетике» как единый заказчик обеспечило бы: консолидацию и координацию финансовых, материальных и трудовых ресурсов при государственном контроле и регулировании; прозрачность и проверяемость; привлечение денежных средств из различных источников и эффективное освоение этих средств, сокращение сроков внедрения энергетических объектов, минимизацию затрат по проекту; грамотное ведение инвестиционного процесса. Выполнен анализ правовых и финансовых взаимоотношений предлагаемого РУП с другими субъектами проекта в рамках действующего законодательства Республики Беларусь и разработаны проекты документов, необходимых для его создания.

Вывод: Для совершенствования управления реализацией инвестиционных проектов в энергетике рекомендуется создание централизованной службы единого заказчика, как самостоятельного юридического лица, и формирование в составе службы ГУП.

Выбор и применение кабелей с пластмассовой изоляцией в системах электроснабжения

Радкевич В.Н., Козловская В.Б., Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Начиная с 1977 года в электрических сетях напряжением 6-10кВ г. Минска начали применяться одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Такие кабели за счет большей длительно допустимой температуры нагрева жилы в нормальном режиме (до 90⁰С) и широкого диапазона шкалы стандартных сечений жилы (от 50 до 800мм²) имеют большую пропускную способность по сравнению с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией. Кроме того, кабели с изоляцией из СПЭ, как показывает зарубежный опыт, обладают лучшими показателями надежности.

Выбор сечения токоведущей жилы кабелей с изоляцией из СПЭ осуществляется по тем же условиям, что и трехжильных кабелей: по экономической плотности тока, по допустимому нагреву током в послеаварийном или ремонтном режиме и по термической стойкости при коротком замыкании (КЗ).

Отметим также, что по термической стойкости выбираются и экраны кабелей. При этом возникает вопрос: по какому току КЗ (двухфазного или трехфазного) производить расчет? На этот счет в инструкциях по применению одножильных кабелей не имеется.

Если при выборе кабелей с изоляцией из СПЭ использовать значения экономической плотности тока, приведенные в правилах устройства электроустановок, то можно получить парадоксальный результат: при прокладке в земле и при любых величинах времени использования максимальной нагрузки для кабелей на напряжение 10кВ с токоведущей жилой из меди сечением 185мм² и более, а из алюминия – 300мм² и более экономическое значение тока оказывается больше допустимого по нагреву. Следовательно, сечения одножильных кабелей с изоляцией из СПЭ по экономическим соображениям необходимо выбирать на основе сопоставительных технико-экономических расчетов.

**Эксплуатационные показатели кабельных городских
электрических сетей 6-10кВ**

Романов Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Город Минск является крупным мегаполисом с развитой инженерной инфраструктурой, включающей в себя распределительные электрические сети. Сети электроснабжения города состоят из 31 питающей ПС 110/10 и 35/10кВ, более 2000 трансформаторных и распределительных пунктов, воздушных линий 10-0,4 кВ общей протяженностью порядка 750км, и 5600км кабельных линий из которых 14км- 110кВ, 14км-35кВ, 3162км-10кВ, 2410-0,4кВ.

Основными эксплуатационными показателями распределительных сетей являются: количество отказов, стоимость восстановления линий и время восстановления электроснабжения потребителей.

Проведенный за период с1994 по 2007 годы анализ показал существенный рост общего количества повреждений с 588 до 932 и определилась тенденция к росту параметра потока отказов. Это можно объяснить тем, что кабели с пропитанной бумажной изоляцией постепенно вырабатывают свой ресурс, который в первую очередь обусловлен старением и тепловым износом изоляции. Затраты на восстановление кабельных линий складываются из совокупности стоимостей работ по отысканию места повреждения (ОМП), восстановления, испытания (И). Стоимости работ по отысканию места повреждения и испытанию имеют в настоящее время постоянную величину, однако появилась возможность снижения стоимости восстановления при применении одножильных кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена. Это связано со снижением трудозатрат (для одножильного кабеля с СПЭ изоляцией 4,42 ч/ч, для кабеля с бумажной пропитанной изоляцией 7,2ч/ч), расхода материалов (меньшая длина разделки 200мм и 600мм) и уменьшения рабочего пространства (рытье котлована). Среднее время восстановления электроснабжения потребителей составило 82 мин при нормативе 120 мин.

Технические и эксплуатационные требования к тренажерам и организации тренажерной подготовки на предприятиях ГПО “Белэнерго”

Бобров А.В., Савицкий А.И., Шиманская Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Руководящий документ, название которого приведено в заголовке статьи, разработан коллективом авторов БелТЭИ, БНТУ, РУП “ОДУ”, Института электроники НАН.

В первой главе приведены основные термины и определения, классификация программных средств подготовки.

Вторая глава посвящена общим требованиям к автоматизированным системам обучения и тренажерам, человеко-машинному интерфейсу, аппаратному и системно-техническому обеспечению.

В третьей главе представлены технические требования к автоматизированным системам обучения: функциональные нормы годности, требования к построению обучающих курсов.

В четвертой главе приведены технические требования к тренажерным комплексам, реализации технологии управления энергообъектами и электрическими сетями, мультимедийным возможностям. Указаны функциональные роли пользователей тренажера и особенности их автоматизированных рабочих мест.

В пятой главе рассматриваются особые требования к тренажерам по управлению режимами электрических сетей. Рассматриваются вопросы математического моделирования объекта управления, указывается на возможность интеграции коммутационно-режимных тренажеров с автоматизированными системами диспетчерского управления. Рассматриваются особенности многопользовательских тренировок с применением компьютерной сети.

Шестая глава освещает вопросы организации тренажерной подготовки оперативно-диспетчерского персонала на предприятиях электроэнергетики Республики Беларусь. Рассмотрена организационная структура тренажерной подготовки, нормативное и учебно-методическое обеспечение, технические и программные средства организации тренажерной подготовки.

Цыганков В.М.

Белорусский национальный технический университет

При сооружении ЛЭП их оттесняют на непригодные для сельского хозяйства земли и лесные массивы. Содержание про-сек на трассах ЛЭП связано с большими трудозатратами. Ущерб можно уменьшить за счет сокращения расстояния между про-водами соседних фаз и применяя изоляторы из полимеров и рас-щепляя фазы ЛЭП. Для уменьшения напряженности электриче-ского поля ЛЭП, влияющего отрицательно на человека и жи-вотных, разрабатывают оптимальные конструкции опор ЛЭП и уменьшают расстояния между фазами с применением изоляци-онных распорок. Расстояние от оси ЛЭП до населенных пунктов для ВЛ 750 кВ – 250 м. Пересекать их ЛЭП можно в крайнем случае. При этом для ВЛ 750 кВ высота подвески провода 22 – 23 метра. Машины и механизмы в защитной зоне ЛЭП исполь-зуются с заземлителями (металлические цепи). Сопротивление корневой системы деревьев и кустарников мало по сравнению с сопротивлением веток. Оставление древесно-кустарниковой растительности высотой до 4 м под проводами ЛЭП обеспечи-вает экологическую безопасность людей и животных и умень-шает трудозатраты по повторным вырубкам трасс ЛЭП. Не об-наружено влияние электрического поля на цветение и плодоно-шение плодовых деревьев. В зонах интенсивного земледелия целесообразно использовать трассы линий для разведения пло-дово-ягодных садов. Заряды проводов наводят в тросах ЛЭП заряды противоположного знака. Здесь эффективна для компен-сации поля проводов подвеска под проводами двух тросов, раз-несенных в горизонтальной плоскости. Шумовое воздействие на окружающую среду, кроме проводов ЛЭП, производят и рас-пределительное устройство подстанций (трансформаторы, воз-душные выключатели). При проектировании РУ подстанций, определяется расстояние, на котором его располагать от терри-тории жилой застройки. Экономическая эффективность затрат на системы передачи энергии определяется при оценке эффек-тивности природоохранных мероприятий.

**Разработка требований к организации тренажерной
подготовки и диспетчерским тренажерам
Республики Беларусь**

Бобров А.В.

Белорусский национальный технический университет

Появление большого количества разнообразных программных продуктов под общим названием «тренажеры» привело к необходимости их структурировать, определить минимальные требования, которым они должны удовлетворять, и регламентировать их использование. Руководящий документ, решающий данную задачу, был разработан по заданию ГПО «Белэнерго» группой специалистов БелТЭИ (Брушков А.М., Кирплюк М.Р.), кафедры «Электрические системы» БНТУ (Федин В.Т., Шиманская Т.А., Бобров А.В.), Института электроники НАН РБ (Круна И.В.). За основу был принят аналогичный документ, разработанный в лаборатории экспертных систем ВНИИЭ (Головинский И.А.) по заданию РАО ЕЭС России.

В документе представлены требования к программным средствам подготовки персонала: системам автоматизированной проверки знаний и компьютерным тренажерам для оперативно-диспетчерского персонала энергосистемы. Приведены технические требования, состоящие из норм годности, функциональных требований, требований к сопроводительной документации и комплектности поставки. Рассматриваются требования к организации тренажерной подготовки. При разработке данного документа принят дифференцированный подход в соответствии с уровнем диспетчерской иерархии персонала. Допущения, принимаемые при построении модели объекта управления, уровень детализации графической и текстовой информации должны соответствовать категории персонала. В документе указана необходимость автоматизированной оценки действий тренируемых и накопления статистических показателей. На основе разработанного документа могут быть составлены технические задания на выполнение НИР по созданию программных комплексов. С его привлечением может проводиться сравнительный анализ различных разработок.

Алгоритм выбора рациональных режимов регулирования напряжения в распределительных электрических сетях

Волков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Качество электрической энергии непосредственно влияет на эффективность работы, износ и повреждаемость электрооборудования электрических сетей и потребителей, расход и потери электрической энергии. Проблема повышения качества электрической энергии непосредственно связана с определением рациональных режимов регулирования напряжения в распределительных электрических сетях.

Основным средством регулирования напряжения в распределительных сетях являются трансформаторы питающих подстанций 110/10 кВ (центров питания) и трансформаторы трансформаторных подстанций (ТП) 10/0,4 кВ.

Составлен алгоритм и программа для совместного выбора требуемого уровня напряжения в центре питания и ответвлений ТП. Последовательность действий при этом следующая:

1) в результате расчета режимов наибольших и наименьших нагрузок определяются потери напряжения от шин центра питания до шин низшего напряжения ТП;

2) по потерям напряжения в сети 0,38 кВ и допустимым отклонениям напряжения на зажимах потребителей определяются допустимые отклонения напряжения на шинах низшего напряжения ТП;

3) для каждого ответвления трансформатора ТП определяется диапазон потерь напряжения от шин центра питания до шин низшего напряжения ТП;

4) осуществляется выбор ответвлений трансформаторов ТП. При этом в первую очередь рассматривается вариант при котором ответвления трансформаторов каждой из ТП во всех режимах будут выбраны одинаковые.

Если при исходном законе регулирования напряжения в центре питания ответвления трансформаторов ТП не удастся выбрать, то расчеты по пунктам 3 и 4 повторяются при другом уровне напряжения в центре питания.

Расчёт технических потерь электроэнергии в электрических сетях 220...750 кВ в условиях эксплуатации

Золотой А. А.

Белорусский национальный технический университет

В Белорусской энергосистеме активно проводится работа по модернизации учётов электроэнергии в электрических сетях 35 кВ и выше. Уже сегодня цифровые учёты установлены во всех местах выработки электрической энергии и более чем на 60 % вводов 6-10 кВ трансформаторов 35 кВ и выше ОЭС Беларуси.

Важной особенностью цифровых приборов учёта электрической энергии является способность регистрировать графики получасовых пропусков электроэнергии, что даёт возможность выполнять оперативные расчёты технических потерь электроэнергии статистическим методом поэлементного расчёта на основе факторного моделирования узловых мощностей.

$$\Delta W_{ij} = (\Delta P_{ij}(M(P), M(Q)) + (D(U'_i - U'_j) + D(U''_i - U''_j))) g_{ij} T,$$

где M – математическое ожидание случайной величины;

D – дисперсия случайной величины.

При малом числе наблюждённых значений суточного графика, получить точную его модель можно только на основе аппарата факторного статистического анализа постоянно регистрируемых графиков наблюдаемой части электрической сети, который включает в себя следующие этапы:

- получение главных факторов на основе анализа «обучающей выборки» графиков электрической сети;
- регрессионный анализ всех узловых мощностей электрической сети с использованием главных факторов в качестве функций-регрессоров;
- моделирование уравнений связи независимых (нагрузок узлов) и зависимых (узловых напряжений) переменных на основе факторных моделей нагрузок узлов;
- уточнение математических ожиданий напряжений узлов с помощью факторной модели мощностей.

Определение оперативного резерва активной мощности в Белорусской энергосистеме

Калентионок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Для Белорусской энергосистемы вопросы оптимального резерва весьма актуальны, так как с разделением ЕС СССР, в настоящее время это энергообъединение стран СНГ и Балтии, на 13 районов регулирования, одним из которых является Белорусская энергосистема, объемы резервов значительно возросли. Если бы энергообъединение стран СНГ и Балтии представляли собой один район регулирования, то общий резерв можно было уменьшить на 46%, а при объединении только энергосистем Балтии и Республики Беларусь в один район регулирования – на 15% меньше. При изолированной работе ОЭС Беларуси оперативный резерв мощности возрастет еще больше.

Рассмотрены различные виды резервов активной мощности: ремонтный, эксплуатационный, аварийный, нагрузочный, взаимопомощи, включенный (горячий) и невключенный (холодный).

Предложено величину включенного оперативного резерва активной мощности определять по формуле

$$R_{\text{вк}} = R_1 + R_2 + R_3, \quad (1)$$

где R_1 – резерв первичного регулирования (первичный резерв);

R_2 – резерв вторичного регулирования (вторичный резерв);

R_3 – резерв третичного регулирования (третичный резерв).

К оперативному резерву относится не только включенный резерв, имеющихся на вращающихся агрегатах, время мобилизации которого не превосходит нескольких минут, но условно и так называемый невращающийся резерв, время ввода которого составляет несколько часов.

Величина невключенного резерва активной мощности определяется как:

$$R_{\text{нв}} = P - P_p - P_k - P_m - R_{\text{вк}}; \quad R_{\text{нв}} \geq R_2, \quad (2)$$

где P – располагаемая мощность ОЭС Беларуси; P_p – мощность, находящаяся в ремонте; P_k – мощность, находящаяся на консервации; P_m – максимум нагрузки энергосистемы.

Совместный расчёт распределительных электрических сетей 6(10)-0,38 кВ

Макаревич В. В.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время в электрических сетях всё чаще возникает необходимость определять потери электроэнергии в сетях 0,38 кВ. При этом возникают проблемы достоверизации топологической информации, необходимости кодировки схем большого объёма, полного отсутствия режимной информации.

Причём устранением первых двух проблем успешно занимаются уже многие филиалы электрических сетей РБ, а последняя проблема так и не находит решения. Поэтому предлагается методика совместного расчёта потерь электроэнергии в электрических сетях 6(10)-0,38 кВ на основе пофазных расчётов.

Суть предлагаемой методики заключается в следующем.

В центрах питания (ЦП) сети 6(10) кВ используются графики потребления активной и реактивной электроэнергии за расчётный период. В сети 0,38 кВ задаются места и фазы подключения потребителей, их типовые графики и установленные мощности. Потери электроэнергии предлагается определять методом графического интегрирования, с шагом интегрирования 1 час. Укрупнённый алгоритм предлагаемой методики, на каждом шаге интегрирования выглядит следующим образом:

1. Вычисляется доля установленной мощности каждого потребителя, как произведение относительной величины потребления по типовому графику на установленную мощность потребителя.
2. Мощность общего потребления ЦП распределяется пропорционально долям установленной мощности всех потребителей питающихся от данного ЦП.
3. Производится пофазный расчёт режима и потерь в сети 0,38 кВ с учётом потерь в нулевом проводе.
4. Определяются фазные токи на стороне 6-10 кВ трансформаторов потребительских подстанций 6-10/0,38 кВ.
5. Рассчитываются пофазно режим и потери в сети 6-10 кВ.

Общие потери электроэнергии за расчётный период определяются как сумма потерь каждого шага интегрирования с разбивкой по номинальным напряжениям.

Семенков Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время во всем мире стало определяющей тенденцией интегрирование международных электроэнергетических систем (ЭЭС) в объединения, для получения дополнительных эффектов от их совместной работы.

При организации выгодного для Республики Беларусь экспорта электроэнергии надо учитывать, что западноевропейские потребители заинтересованы в получении электроэнергии в аварийных режимах и в периоды максимума нагрузки. Существенный экономический эффект от купли-продажи электроэнергии может быть достигнут за счет имеющихся различий тарифов на базисную, полупиковую и пиковую мощности в ЭЭС стран входящих в зону экспорта-импорта электроэнергии Беларуси.

С учетом этого заслуживает внимание вариант комбинированной связи энергосистем Востока и Запада, обеспечивающих их синхронную работу. Преимущества:

- применение комбинированного объединения позволяет ограничить мощность вставки до минимально возможного, в отличие от вставки постоянного тока строительство которых намечено на сечении Беларусь–Польша;

- повышается надежность выдачи мощности по межгосударственной линии. Если учесть при формировании промежуточной подсистемы (ППС) установку ВПТ на Смоленской АЭС то можно таким образом увеличить установленную мощность ППС до 10000 МВт.

При формировании ППС учитывается еще условие

$$P_{н.элс} \geq P_{н\Sigma} + P_{мс},$$

где $P_{н.элс}$ – номинальная мощность всех электростанций ППС; $P_{н\Sigma}$ – суммарная нагрузка всех потребителей ППС; $P_{мс}$ – передаваемая мощность по межгосударственной связи;

Применение комбинированного объединения позволяет в сжатые сроки выйти на западноевропейский рынок электроэнергетики с обоюдной выгодой.

Распределение реактивной мощности между параллельно работающими синхронными генераторами

Филипчик Ю. Д.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных вопросов, встающих при разработке систем группового управления возбуждением, является вопрос об условиях, которым должно удовлетворять распределение реактивной нагрузки между генераторами станции, и о средствах его осуществления.

Требования к распределению реактивной нагрузки внутри станции не должны исходить из условий достижения теоретического минимума потерь, так как это усложнит системы автоматического группового управления. Поэтому практически используются только условия технической целесообразности распределения реактивной нагрузки между генераторами. В настоящее время известно несколько подходов к распределению реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами электростанции:

а) метод выравнивания реактивных мощностей:

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n,$$

б) метод пропорционального распределения реактивных мощностей:

$$Q_1 / Q_{1M} = Q_2 / Q_{2M} = \dots = Q_n / Q_{nM}.$$

В данных подходах учитывается только тепловой режим работы синхронной машины. Вместе с тем значение реактивной мощности является весьма важным с точки зрения обеспечения устойчивости синхронной машины.

Если подходить с точки зрения обеспечения максимального уровня устойчивости станции, то необходимо обеспечить равенство коэффициентов запаса по активной мощности всех синхронных генераторов:

$$K_{P1} = K_{P2} = \dots = K_{Pn}. \quad (1)$$

Условие (1) может не соблюдаться при достижении генераторами предельных допустимых значений реактивной мощности.

Фурсанов М. И.

Белорусский национальный технический университет

Исследованы коэффициенты k оптимальных нагрузок трансформаторов 6...330 кВ по критериям: минимума суммарных потерь активной мощности ΔP в трансформаторах:

$k_{\Delta P} = \sqrt{\Delta P_0 / \Delta P_{cr}}$, минимума суммарных потерь электроэнергии в трансформаторах $k_{\Delta W} = \sqrt{\Delta P_0 T / \Delta P_{cr} \tau}$ и

$\bar{k}_{\Delta W} = (\bar{S} / S_{max}) \sqrt{\Delta P_0 T / \Delta P_{cr} \tau}$, минимума стоимости трансформации электроэнергии $k_{cr} = \sqrt{\frac{p_r K_r + \Delta P_0 T \beta_0}{\Delta P_{cr} \tau \beta_n}}$.

Выполненные исследования и их анализ показали, что:

1. Оптимальный уровень потерь электроэнергии в электрических сетях зависит от принятого критерия оптимальности – суммарных потерь мощности, электроэнергии или экономического. Коэффициент загрузки $k_{\Delta P}$ находится в пределах 0,42 – 0,59: для трансформаторов 6...20 кВ – 0,42; 35 кВ – 0,49; 110 кВ – 0,51; 220 кВ – 0,57 и 330 кВ – 0,59.

2. Оптимальная нагрузка трансформаторов по критерию минимума потерь электроэнергии $k_{\Delta W}$ больше, чем $k_{\Delta P}$, в $\sqrt{T/\tau}$ раз.

3. Средний коэффициент загрузки меньше максимального в S_{max}/\bar{S} раз и составляет $\bar{k}_{\Delta W} = 0,63...1,22$.

4. Загрузка по экономическому критерию всегда выше, чем по критерию минимума суммарных потерь электроэнергии: $k_{cr} = 1,72...2,33$, $\bar{k}_{cr} = 1,06...1,46$.

5. Полученные оптимальные значения нагрузок исследуемых трансформаторов 100, 160 и 250 кВ·А, работающих в сети, оказались равными соответственно 72, 81, и 86%, что значительно ниже предельно допустимых.

Оценка максимальных тяжений в расщепленной фазе при коротком замыкании

Андрукевич А.П.

Белорусский национальный технический университет

Для одиночных проводов во время короткого замыкания (КЗ) можно выделить два характерных максимума: $T_{2\max}$ – возникает когда провода при их отталкивании подвергаются максимальному растяжению под действием ЭДУ и $T_{3\max}$ – возникает после отключения КЗ в момент сближения проводов.

Особенностью проводов расщепленной фазы является наличие еще одного максимума тяжения $T_{1\max}$, возникающего, когда под действием внутрифазных усилий происходит максимальное удлинение составляющих проводов расщепленной фазы. Наиболее простым и наглядным является случай двух проводов в фазе (рисунок 1). При определении $T_{1\max}$ расчетные формулы выводятся для положения равновесия провода. Допускается, что в момент максимального стягивания проводов в фазе имеет место равновесие приложенных к ним сил и моментов этих сил

$$V_{\max} \cdot l - F_1 \cdot b - F_2 \cdot h = 0,$$

где $V_{\max} = H_{\max} \cdot \operatorname{tg} \beta_{\max}$ – вертикальная составляющая тяжения $T_{1\max}$ (рисунок 1); b, h – плечи ЭДУ $\overline{F_1}$ и $\overline{F_2}$ (рисунок 1).

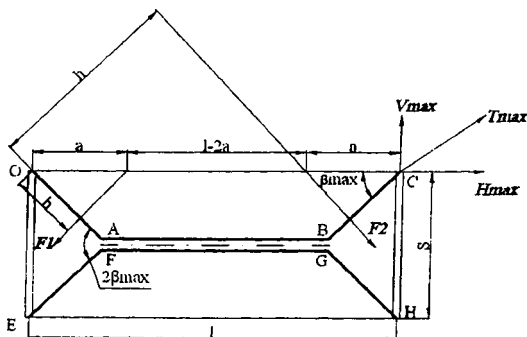


Рисунок 1

Матэматычнае мадэляванне генератараў малой магутнасці на міні-ЦЭЦ

Бобка М.М., Дзерваед В.А.

Беларускі нацыянальны тэхнічны універсітэт

У 1980-я гады паралельна з традыцыйнымі паратурбіннымі агрэгатамі цеплавых і атамных электрастанцый макімальнай адзінкавай магутнасці пачалі шырока прымяняцца высокаэфектыўныя паратурбінныя, газатурбінныя і газатаршнёвыя агрэгаты магутнасцю ад дзесяткаў кілават да дзесяткаў мегават. Пры праектаванні сілавой часткі і прыстасаванняў рэлейнай засцярогі і аўтаматыкі такіх міні-ЦЭЦ узнікаюць новыя тэхнічныя задачы і праблемы.

У дадзенай рабоце распрацавана матэматычная мадэль сінхроннага генератара міні-ЦЭЦ для даследавання пераходных працэсаў пры раптоўных накідах і скідах нагрузкі на генератар малой магутнасці. У якасці ўваходнага параметра для выяўлення гэтага рэжыму прыстасаваннямі рэлейнай засцярогі і аўтаматыкі рэкамендуецца выкарыстоўваць кідок вектара напружання на шыных генератара. Генератар у мадэлі прадстаўлены дыферэнцыяльнымі раўнаннямі Парка-Горава, запісанымі ў сістэме d, q каардынат. Камп'ютарная праграма для мадэлявання напісана на мове праграмавання $C++$ і забяспечана неабходным сэрвісам для яе зручнага выкарыстання. З дапамогай праграмы выканана даследаванне пераходнага працэса пры парушэнні сувязі з энергасістэмай для генератара тыпу БГ-200 і пабудаваны залежнасць кідка вектара напружання ў функцыі папярэдняй нагрузкі генератара тыпу БГ-200 на адным з прадпрыемстваў г. Віцебска.

Праграма можа быць практычна выкарыстана пры праектаванні аб'ектаў, дзе выкарыстоўваюцца кагенерацыйныя прыстасаванні з сінхроннымі генератарамі, якія патрабуюць выкарыстання рэлейнай засцярогі для дзялення схемы электразабеспячэння. Гэта прамысловыя і сельскагаспадарчыя прадпрыемствы, бальніцы, масівы катэджнай забудовы і г.д.

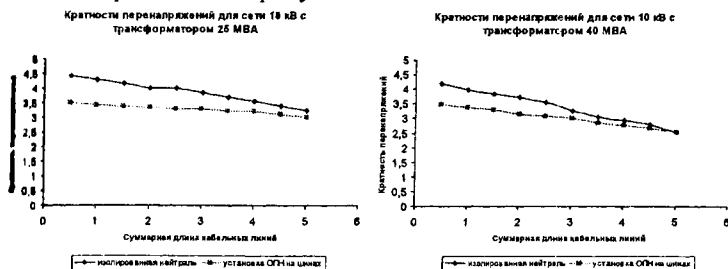
Определение остающегося напряжения на ОПН при дуговых замыканиях на землю в сетях среднего напряжения

Бохан А.Н., Кротенок В.В., Прохоренко С.Н.

Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого

В кабельных распределительных сетях большая часть перенапряжений связана с дуговыми замыканиями на землю. При этом наибольшие уровни перенапряжений наблюдаются при перемежающейся дуге. Выполненные исследования показывают, что импульсы тока замыкания на землю в данных условиях составляют обычно 15–80 А, а перенапряжения достигают уровней опасных для изоляции. Учет динамических параметров ОПН (постоянной времени запаздывания) в моделях позволяют получить результаты моделирования близкие к экспериментальным исследованиям.

Исследованы перенапряжения в кабельной распределительной сети 10 кВ с изолированной нейтралью при перемежающихся дуговых замыканиях на землю и установленных на шинах ОПН-10/12 с помощью модели сети, реализованной в системе MatLab. В модель ОПН вводилось инерционное звено первого порядка с постоянной времени $\tau = 160$ мкс. Изменение максимальных кратностей перенапряжения в зависимости от длины кабельной линии для трансформаторов мощностью 25 и 40 МВА приведено на рисунке.



Остающееся напряжение на ОПН может значительно превышать (в 1,5 раза) уровни перенапряжений при моделировании ОПН статической характеристикой.

**Исследование и анализ
динамических характеристик ОПН 6–10 кВ**

Бохан А.Н., Кротенок В.В., Прохоренко С.Н.
Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого

Существующие методики выбора ОПН по паспортным характеристикам заводов изготовителей позволяют с большими погрешностями определять уровни снижения перенапряжений в конкретной сети, а также оценивать их термическую устойчивость вследствие воздействия разрядного тока. Выполненные исследования характеристик ОПН позволили выявить их инерционность при переходе в проводящее состояние вследствие внутренних перенапряжений. В настоящее время исследовано значительное количество ОПН различных фирм напряжением 0,4, 6 и 10 кВ.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что инерционность является не дефектом отдельных конструкций, а свойством всех ОПН на основе ZnO_2 . Учет указанных свойств позволяет с высокой степенью достоверности моделировать переходные процессы в электрических сетях с ОПН. Определение постоянной времени ОПН возможно расчетным путем, а также посредством численного моделирования условий эксперимента. Экспресс оценку значения постоянной времени запаздывания можно выполнять по смещению амплитуды тока ОПН на границе перехода в проводящее состояние относительно амплитуды приложенного напряжения. Выполнены испытания ОПН напряжением 10 кВ (Raychem HSRA15B 12kV 10kA, ОПН-10/12/10 УХЛ11, ОПН-11-10/11 УХЛ1, ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ2 10 кА и др.). При испытаниях амплитудные значения тока ОПН увеличивались в диапазоне от 4 до 15 мА, сдвиг между амплитудными значениями тока и напряжения составлял 550–1000 мкс. Большим значениям импульсов разрядного тока соответствуют большие значения сдвига. При обработке результатов исследований следует учитывать также, что напряжение в сети имеет зачастую несинусоидальную форму. В отдельных опытах сдвиг амплитуды сетевого напряжения относительно середины полупериода составлял 300 мкс.

Определение первичных и вторичных параметров высоковольтных шин

Бохан Н.В.

Белорусский национальный технический университет

К первичным параметрам высоковольтных шин относят полное продольное сопротивление Z и проводимость Y . К вторичным параметрам высоковольтных шин относят постоянную распространения γ и волновое сопротивление Z_B .

Пространство рассматривается как изотропное однородное, характеризующееся электрической ϵ_0 и магнитной μ_0 постоянными. Высоковольтные шины характеризуются постоянной распространения γ и волновым сопротивлением Z_B :

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y}, \text{ м}^{-1}; \quad Z_B = \sqrt{Z \cdot Y^{-1}}, \text{ Ом},$$

где Z – полное погонное продольное сопротивление шин и кабелей, Ом/м; Y – полная погонная поперечная проводимость шин и кабелей, См/м.

К параметрам высоковольтных шин относятся входное сопротивление $Z_{вх}$ в любой точке цепи и сопротивление нагрузки Z_H в месте установки оборудования:

$$Z_{вх}(x) = Z_B \frac{1 + \beta_x e^{-2\gamma l_x}}{1 - \beta_x e^{-2\gamma l_x}}, \text{ Ом}; \quad Z_H = Z_C + Z_3, \text{ Ом},$$

где γ – постоянная распространения, 1/м; l_x – расстояние от начала любого расчетного участка до точки наблюдения x , м; Z_C – емкостное сопротивление оборудования, Ом; Z_3 – сопротивление заземления оборудования, Ом; β_x – коэффициент отражения, который равен

$$\beta_x = (Z_{вх} - Z_B) \cdot (Z_{вх} + Z_B)^{-1}.$$

Параметрами высоковольтных шин также являются функции распространения напряжения и тока от заданной точки наблюдения в любую другую точку цепи:

$$F_U = \frac{1 + \beta}{1 + \beta e^{-2\gamma l_x}}; \quad F_I = \frac{1 - \beta}{1 - \beta e^{-2\gamma l_x}}.$$

Применение глубинных вертикальных заземлителей для снижения входного сопротивления заземляющего устройства

Бохан Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Величина импульсного входного сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) в месте заземления высоковольтного оборудования во многом зависит от числа направлений растекания импульсных и высокочастотных токов. В реальных условиях такие направления обеспечиваются горизонтальными элементами ЗУ. Максимальное рациональное число таких направлений равно четырем. При увеличении числа направлений эффективность снижения входного импульсного сопротивления уменьшается вследствие взаимного экранирования направлений.

Наиболее эффективным способом увеличения числа направлений является применение глубинных вертикальных заземлителей. Основным параметром любого из направлений по отводу импульсных и высокочастотных токов в землю является их волновое сопротивление. Правомочность применения глубинного вертикального заземлителя в качестве направления для растекания импульсных и высокочастотных токов соблюдается при выполнении условия $Z_{вг} \approx Z_{вз}$, т. е. при равенстве волновых сопротивлений горизонтального и глубинного вертикального заземлителей. Из расчетов следует, что данное условие выполняется при длине глубинного вертикального заземлителя не менее 10 м. С учетом этого величина входного импульсного сопротивления в месте ввода импульсных и высокочастотных токов в землю может определяться по выражению

$$Z_{вх} = \frac{Z_{вгз}}{N_r + N_z},$$

где $Z_{вгз}$ – волновое сопротивление одного горизонтального или вертикального заземлителя; N_r , N_z – число направлений растекания токов (число горизонтальных и вертикальных заземлителей в месте ввода импульсного или высокочастотного тока в землю).

**О совместной подготовке специалистов
по заочной форме обучения**

Булат В.А.

Белорусский национальный технический университет

Начиная с 2001 года в Белорусском национальном техническом университете и Гродненском Государственном университете ведется совместная подготовка специалистов с высшим образованием без отрыва от производства на договорной основе по специальностям 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети (специализация 1-43 01 02-01 «Проектирование и эксплуатация электроэнергетических систем») и 1-53.01.04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами» (специализация – 1-53 01 04-03 «Автоматизация и релейная защита электроустановок»).

Основной целью совместной подготовки специалистов в БНТУ и ГрГУ является обеспечение Гродненской области специалистами в области электроэнергетики и автоматизации энергетических процессов, повышение качества подготовки специалистов путем рациональной организации учебного процесса, эффективного использования их материально-технической базы и кадрового потенциала, а также производственной базы заинтересованных предприятий и организаций. ГрГУ ежегодно осуществляет прием на I курс по указанным специальностям в соответствии с порядком приема в ГрГУ для обучения на договорной основе, а также их обучение в течение первых шести семестров (первый цикл обучения) без отрыва от производства. БНТУ обеспечивает перевод и зачисление студентов ГрГУ на соответствующие специальности БНТУ начиная с седьмого семестра, осуществляя их обучение в течение последующих шести семестров (второй цикл обучения), а при условии успешного прохождения Государственной аттестации выдает им в установленном порядке диплом БНТУ.

Совместная подготовка специалистов осуществляется на основе сквозных рабочих учебных планов и учебных программ, которые разрабатываются на основе учебных планов и программ БНТУ и утверждаются ректорами БНТУ и ГрГУ.

**Системы динамического моделирования как альтернатива
вычислительному эксперименту по программам
на алгоритмических языках высокого уровня**

Новаш И.В.

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электрические станции» имеет большой опыт разработки компьютерных программ по оценке поведения устройств защиты и автоматики электроэнергетических объектов. Математическая модель обобщенного объекта содержит математическое описание всех основных элементов объекта, а также смежных элементов, оказывающих заметное количественное и качественное влияние на характер протекания аварийных и послеаварийных режимов. Количественное влияние, которое следует учитывать в процессе исследования, оценивается величиной порядка 3-5% действующих значений параметров исследуемых режимов, качественное влияние (степень искажения формы кривых исследуемых процессов) – примерно таким же содержанием высших гармоник. Математическим аппаратом таких программ являются обыкновенные дифференциальные уравнения, не приводимые к нормальной форме Коши и нелинейные системы алгебраических уравнений, требующие совместного решения.

Предлагается использовать компьютерные *системы динамического моделирования* (СДМ), такие как Simulink-MatLab, для исследования поведения устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетических объектов, проводя вычислительный эксперимент в среде самой СДМ. При этом исключаются такие этапы математического моделирования, как составление математического описания объектов, разработка алгоритмов решения математических моделей и написание компьютерных программ вычислительного эксперимента. Эти этапы заменяются в системах динамического моделирования этапом создания модели исследуемого объекта из стандартных модулей, имеющих в библиотеке моделирующей системы.

Организация адаптивной микропроцессорной защиты с использованием средств АСУ ТП

Ваганов А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Переход на новую элементную базу не приводит к изменению принципов действия релейной защиты и электроавтоматики, а только расширяет ее функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает ее стоимость. Поэтому микропроцессорные устройства очень быстро заняли место устаревших электромеханических и микроэлектронных реле.

Современные цифровые устройства интегрировали в рамках единого информационного комплекса функции релейной защиты, измерения, регулирования и управления энергоустановкой. Такие устройства в структуре автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) энергетического объекта являются окончательными устройствами сбора информации.

В процессе эксплуатации энергетических систем имеют место частые изменения топологии сети вследствие переключений, вызванных как плановыми мероприятиями и технологическим процессом, так и авариями. В процессе выше названных переключений изменяется баланс мощностей, количество мощных потребителей, что, в свою очередь, уменьшает уровни токов короткого замыкания и, как следствие, загроубляет релейную защиту.

Подстанции, оснащенные микропроцессорной защитой и АСУ ТП, позволяют программным образом реализовать возможность автоматического изменения уставок терминалов защиты для предотвращения загроубления защиты в случае изменения схемы сети, при осуществлении плановых переключений и в аварийных режимах. Микропроцессорная защита, интегрированная в АСУ ТП, обменивается необходимыми данными с сервером и АРМом специалиста, что позволяет в полной мере осуществлять мониторинг, управление процессами и архивирование данных.

Математическая модель крутильно-демпферного гасителя пляски расщепленных фаз ВЛ СВН

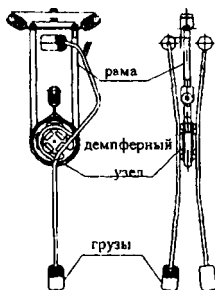
Виноградов А.А., Платонова И.А., Сергей И.И.

ЗАО «Электросетьстройпроект»

Московский энергетический институт (ТУ)

Белорусский национальный технический университет

Ежегодно во всем мире энергокомпании несут огромные расходы, связанные с лучшим пониманием сути пляски и разработкой эффективных средств защиты линий электропередачи от ее пагубных последствий. Одним из таких средств защиты является гаситель TDD, который призван демпфировать возникающие при пляске крутильные колебания расщепленной фазы. Наряду с этим, его присутствие позволяет также увеличить разницу в частотах вертикальных и крутильных колебаний, создавая таким образом эффект расстройки.



Гаситель пляски TDD-3

При моделировании такого гасителя считается, что он состоит из жестко связанной с расщепленной фазой (РФ) рамы и вращающегося относительно рамы маятника с грузами. Для поглощения энергии колебаний гаситель снабжен демпферным узлом. Центр масс системы 1 «участок РФ + рама гасителя» расположен на расстоянии l_1 от оси РФ, а центр масс системы 2 «демпферный узел + связанные с ним грузы» (вращающейся относительно системы 1) отстоит от ее центра вращения на расстоянии l_2 . Полученная для участка расщепленной фазы с гасителем пляски типа TDD математическая модель представляет собой систему из четырех дифференциальных уравнений второго порядка с нелинейными правыми частями, описывающих динамику перемещения его центра масс и углов поворота систем 1 и 2 относительно их осей вращения. Для удобства дальнейшего численного решения выведенная система уравнений приводится к нормальному виду.

Разработанная математическая модель может быть распространена на традиционные гасители пляски маятникового типа.

**Алгарытм згорткі схемы
пры ўздоўжнай і папярочнай несіметрыі**

Гарачка М.Г., Булойчык А.В.
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт

Пры праектаванні некаторых фільтравых рэлейных засцярог неабходна выконваць разлік сіметрычных складовых токаў пры разрывах адной або двух фаз трохфазнай сістэмы ў зададзеным элеменце сувязі разліковай схемы энергасістэмы.

Як вядома [1], несіметрычнае кароткае замыканне (КЗ) з'яўляецца папярочным відам несіметрыі, а разрывы фаз з'яўляюцца ўздоўжнымі відамі несіметрыі. Разлік рэжымаў КЗ і абрыву фаз можна выканаць з дапамогай аднаго алгарытму, у аснове якога ляжыць згортка схем замяшчэння прамой, адваротнай і нулявой паслядоўнасці.

У дадзенай рабоце выканана мадыфікацыя праграмы ТКЗ, якая прызначана для разліку несіметрычных відаў КЗ, для разліку рэжымаў ўздоўжнай несіметрыі пры абрывах адной або двух фаз ліній электраперадачы.

У гэтай праграме ўваходная інфармацыя аб галінах схемы замяшчэння прадстаўляецца ў спісавай форме, а згортка схемы да зададзенага вузла КЗ выконваецца з дапамогай асобнай падпраграмы. У зыходнай праграме згортка схемы выконваецца да двух вузлоў, з якіх адзін з'яўляецца вузлом КЗ, а другі – вузлом нулявога патэнцыяла.

Для згорткі схемы ў мадыфікаванай праграме выкарыстоўваецца тая ж падпраграма, што і для разліку тока КЗ, але згортка выконваецца да двух вузлоў схемы, якія адпавядаюць двум канцам разарванай лініі. Лініі, на якіх патрэбна рэалізаваць рэжым разрыву, забяспечваюцца прыкметамі неабходнасці разліку рэжыму ўздоўжнай несіметрыі і віду разрыву.

Літаратура

1. Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы / С.А.Ульянов. – М.: Энергия, 1970.

**Праграма для разліку токаў кароткага замыкання
ў схемах да 1 кВ**

Гарачка М.Г., Усцімовіч В.А.

Беларускі нацыянальны тэхнічны універсітэт

У адпаведнасці з [1] пры разліку токаў кароткага замыкання (КЗ) павінны быць выкананы ўлік актыўных супраціўленняў элементаў схемы, супраціўленне дугі ў месцы КЗ, сінхронных і асінхронных рухавікоў і абагульненай нагрузкі, тэрмічнага эф-фекту тока КЗ.

На кафедры «Электрычныя станцыі» для разліку токаў КЗ распрацавана камп'ютарная праграма TKZdolKV. Праграма выконвае разлік перыядычнай складовай тока для ўсіх відаў КЗ у адвольны момант часу. Для згорткі схем замяшчэння розных паслядоўнасцей да вузла КЗ выкарыстоўваецца алгарытм выда-лення вузла схемы шляхам пераўтварэння многапрамяневых зорак у поўныя многавугольнікі. Параметры дугі могуць быць уведзены ў схему замяшчэння двума спосабамі [1]. Токі ад сінхронных і асінхронных рухавікоў і ад абагульненай нагрузкі ўлічваюцца ў адпаведнасці з метадыкай, рэкамендаванай у [1]. Для ўліку тэрмічнага эфекту тока КЗ выконваецца многаразо-вы разлік тока КЗ у часе. Для гэтага час КЗ разбіваецца на інтэрвалы, і на кожным новым інтэрвале выконваецца разлік новай тэмпературы кабеляў [2] і новых значэнняў актыўных супраціўленняў кабеляў у схеме замяшчэння.

Праграма забяспечана базай дадзеных, у якой захоўваюцца параметры элементаў разліковай схемы. Разліковая схема фармуецца карыстальнікам на экране дысплея ў графічнай форме, а схема замяшчэння будуецца праграмай.

Літаратура

1. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – Минск: Издательство стандартов, 1994.
2. ГОСТ 30323-95. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Минск: Издательство стандартов, 1994.

Применение функций Бесселя при исследовании электромагнитных характеристик заземлителей

Герасимович Д.А., Дерюгина Е.А.

ООО «Экнис»

Белорусский национальный технический университет

Решение уравнений Лапласа и Гельмгольца в цилиндрических и сферических координатах методом разделения переменных, приводит к уравнению Бесселя, служащему для определения функций Бесселя или цилиндрических функций. Следовательно, функции Бесселя особенно важны при решении многих задач таких, как распространение электромагнитных волн в цилиндрическом волноводе, теплопроводность в цилиндрических объектах, вибрация тонкой цилиндрической (кольцевидной) искусственной мембраны, диффузия в кристаллической решетке, обработка сигналов и др.

Исследование электромагнитных характеристик уединенных вертикальных цилиндрических заземлителей основано на применении функций Бесселя.

Распределение радиальной составляющей вектора плотности тока частного решения уравнения распределения электромагнитного поля заземлителя и величина плотности тока от невязки на границах раздела сред для вертикальной составляющей вектора плотности тока определяются при разложении в ряд Фурье-Бесселя по следующим выражениям:

$$\dot{\sigma}_{*imr}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \dot{\sigma}_{imr}^k(0) \cdot e^{p_{ik}z} \cdot J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R_3}\right);$$

$$\Delta \dot{\sigma}_{imz}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \Delta \dot{\sigma}_{imz}^k(0) e^{p_{ik}z} J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R_i - R_{i-1}}\right),$$

где J_0 – функция Бесселя первого рода нулевого порядка; λ_k – корни функции Бесселя первого рода нулевого порядка.

Полученные выражения при применении функций Бесселя позволяют проводить расчет распределения радиальной и вертикальной составляющих вектора плотности тока, определять области растекания токов в заземлителе и активные и индуктивные параметры заземляющих устройств.

Дерюгина Е. А.

Белорусский национальный технический университет

Исследования электрического поля и характеристик заземлителей с начала развития теории заземляющих устройств относились к категории достаточно сложных задач электротехники.

Строгие математические методы решения задачи об электрическом поле и основных характеристиках простых заземлителей разработаны лишь для немногих частных случаев их геометрии. Первым был применен метод, основанный на использовании естественной системы координат. Второй метод основан на замене заземлителя совокупностью точечных источников тока и подбором их тока, при котором одна из эквипотенциальных поверхностей результирующего электрического поля будет иметь такую же форму, как и поверхность заземлителя.

Строгие математические методы решения задачи об электрическом поле сложных заземлителей отсутствуют. Это связано прежде всего с формой заземлителей, обуславливающей трехмерность задачи. Применительно к сложным заземлителям был разработан и получил полное теоретическое обоснование метод наведенного потенциала, включавший в качестве частных случаев известные методы среднего потенциала и потенциала в характерной точке. Используют также конечно-разностные методы для расчета электрического поля заземлителей, расположенных в земле с многослойной электрической структурой. Разрабатываются методы расчета электрических характеристик неэквипотенциальных заземлителей.

Аналитическое исследование переходных процессов при протекании по заземляющим устройствам импульсных токов, связано с большими математическими трудностями. Много работ в теории заземляющих устройств при протекании импульсных токов разработано в Московском энергетическом институте. Существуют методы расчета импульсных сопротивлений, основу которых положена динамическая модель развития ионизации в грунте под действием импульсного тока.

Параллельно с общей теорией заземляющих устройств развивались и приближенные инженерные методы расчета.

Технико-экономическое обоснование энергосбережения в освещении жилых помещений

Ёлкин В.Д.

Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого

В данной работе был произведён технико-экономический анализ эффективности замены малоэффективных ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы в типовой двухкомнатной квартире.

Расчет снижения установленной мощности осветительных приборов квартиры до и после реконструкции представлен в табл. 1.

Расчет электропотребления до и после реконструкции представлен в табл. 2.

Таблица 1. Установленная мощность осветительных приборов квартиры до и после реконструкции

Наименование	Установленная мощность, Вт	
	до	после
Рабочее место у компьютера	100	13
Стол для занятий	100	13
Рабочий стол на кухне	2x60	13
Горшеч в зале	100	9
Итого	420	48

Таблица 2. Электропотребление до и после реконструкции

Дата	Год	Тариф, руб./кВт·ч	Время работы, ч/мес.	Расход W, кВт·ч	Затраты, руб.
Сентябрь	2006	93,4	90	37,8	3530
Сентябрь	2007	112,1	90	4,32	484
Экономия				33,48	3046

В результате проведенной замены, установленная мощность освещения квартиры снизилась на 372 Вт, а экономия составила 3046 руб./мес.

**Автоматизированная система контроля и учета
электроэнергии генерирующего объекта энергосистемы**

Жерко С.Н.

УП НИИ средств автоматизации

Объектом разработки является автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) на генерирующем объекте энергосистемы. Целью разработки является определение и реализация основных направлений и принципов организации учета электроэнергии как высоколиквидного товара, обладающего высокой потребительской стоимостью. Элементами научной новизны является точное дистанционное получение данных о расходе электроэнергии на различных уровнях энергосистемы и осуществление контроля качества параметров электроэнергии. Областью применения являются объекты энергетической отрасли, промышленные предприятия, а так же коммунально-бытовые потребители электроэнергии.

Внедряемая АСКУЭ ТЭЦ, как подсистема национальной АСКУЭ, имеет трёхуровневую структуру:

- на первом уровне – средства учета электроэнергии (измерительные трансформаторы тока и напряжения, электронные электросчетчики с цифровыми интерфейсами, устройства контроля показателей качества электроэнергии),
- на втором уровне объекта учета – средства учета электроэнергии (устройства сбора и передачи данных),
- на третьем уровне учета – корпоративную вычислительную сеть (КВС) с серверами сбора обработки и предоставления информации, АРМами пользователей АСКУЭ.

Смысл создания и использования АСКУЭ заключается в постоянной экономии энергоресурсов и финансов предприятия. Величина экономического эффекта от использования АСКУЭ достигает по предприятиям в среднем 15–30 % от годового потребления энергоресурсов, а окупаемость затрат на создание автоматизированной системы происходит за 2–3 квартала. Результатом внедрения автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии, например, на ТЭЦ мощностью 180 МВт является ежегодная экономия 272 тонны условного топлива и 274 тыс. кВт·ч электроэнергии.

Определение импульсов ЭДУ между гибкими шинами с учетом переходных процессов в блоке генератор-трансформатор

Игнатъев А.А.
РУП Брестэнерго

Применение в электроустановках высокого напряжения в качестве сборных шин гибких токоведущих элементов требует, проверки их на электродинамическую стойкость. Критерием является действующее значение тока КЗ, величина которого не должна превышать 20 кА

В Белорусской энергосистеме уровень токов КЗ в сетях высокого напряжения уже давно превысил указанное значение. Например, ток трехфазного КЗ на сборных шинах 110 кВ Минской ТЭЦ-3 составляет 47 кА. Однако в качестве критерия проверки на электродинамическую стойкость должен выступать комплексный критерий, который, помимо величины тока КЗ, учитывает и его продолжительность. В качестве такого критерия может выступать импульс ЭДУ S , который представляет собой определенный интеграл от ЭДУ $f(t)$ за время продолжительности КЗ t_k :

$$S = \int_0^{t_k} f(t) dt .$$

ЭДУ, в свою очередь, являются функцией мгновенных токов КЗ в течение времени КЗ. В случае определения токов КЗ на сборных шинах электростанции, ввиду близости синхронных генераторов, рекомендуется выполнять путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений, описывающих переходной процесс. Для получения осциллограмм токов КЗ составлена математическая модель, в которой генератор описывается с помощью уравнений Парка-Горева с одной обмоткой возбуждения и двумя эквивалентными демпферными обмотками, а трансформатор – с помощью уравнений равновесия МДС и ЭДС в контурах трансформатора. Результатами решения этих уравнений являются мгновенные значения токов КЗ на сборных шинах блока и ЭДУ в проводах сборных шин.

**Электродинамическая стойкость жесткой ошиновки
распределительного устройства 10 кВ**

Климкович П.И., Потачиц Я.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время имеется хороший математический аппарат, описывающий ЭДУ в распределительных устройствах с жесткой ошиновкой при расположении сборных шин по вершинам равностороннего и прямоугольного треугольников.

Однако в практике конструкторских работ могут возникнуть случаи произвольного расположения изоляторов при расположении шин по вершинам произвольного треугольника. Стоит задача определения максимальных значений изгибающего и растягивающего усилий на расположенный подобным образом изолятор любой фазы.

Разработан алгоритм расчета распределенных усилий на расчетную фазу при параллельном расположении жестких проводников любого сечения в вершинах произвольного треугольника при произвольной полярной ориентации шин и сочлененных с ними изоляторами, реализовав который на ЭВМ, можно с помощью циклических операций определить как угол включения КЗ, при котором будут иметь место максимальные нагрузки на разрыв или на изгиб или максимальное напряжение в материале проводника, так и сами величины этих нагрузок.

Для вычисления токов короткого замыкания в любой момент времени рассматривается случай металлического замыкания. Учет ферромагнитных масс не производится. Распределенные ЭДУ на расчетную фазу определяются по принципу суперпозиции. Для перевода ЭДУ в связанную с шиной и изолятором местную систему координат формируется матрица направляющих косинусов. При вычислении максимальных значений напряжения в материале шины рассматривается случай косоугольного изгиба балки с жестким закреплением концов.

Разработанный метод расчета электродинамических усилий может быть использована в практике конструкторских работ по разработке шинных мостов и токопроводов с произвольным расположением изоляторов.

Оптимизация режимов работы потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками и собственными источниками электроэнергии

Колесник Ю.Н., Иванейчик А.В.

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого

В последнее время, наряду с обычными характеристиками, выделяются потребители с кусочно-непрерывными расходными характеристиками с точками разрыва первого рода. Таким потребителям свойственны существенные изменения производственной программы, поэтому возникает важная задача по определению оптимальных режимов работы потребителей, при которых обеспечивается минимум расхода электроэнергии, либо минимум затрат на покупку электроэнергии, при заданной производительности, многоставочных тарифах на электроэнергию и собственных источниках электроэнергии предприятия, что является актуальной задачей энерго- и ресурсосбережения. При этом возникает вопрос, на какой из характеристик и когда выгоднее работать? Что является более эффективным, снижение до минимума электропотребления в часы максимума нагрузки энергосистемы (тем самым снижается P_{\max}) и работа в остальное время на менее эффективной характеристике, использование собственных источников электроэнергии в период пиковых нагрузок, либо максимальное попадание на более эффективную характеристику (уменьшается объём расходуемой электроэнергии)? Всё это необходимо рассматривать отдельно в каждом конкретном случае.

Для решения задачи были разработаны и решены целевые функции, позволяющие определять наиболее эффективные режимы работы потребителей при заданном объеме производства продукции и собственных источниках электроэнергии.

При оптимизации режима электропотребления ОАО «Молнар-соль» показана возможность снижения расход электроэнергии на 5,3 %, а затраты на её покупку на 8,1 % только лишь за счёт перераспределения объёмов выпускаемой продукции.

**Обеспечение чувствительности
токовых защит линий**

Ковалевский А.В.
РУП «Минскэнерго»

Обычные токовые защиты, анализирующие уставки, рассчитанные классическим способом, не всегда позволяют обеспечить быстрое отключение близких коротких замыканий (КЗ) и высокую чувствительность в зоне дальнего резервирования. Успешное решение этой проблемы возможно путем использования адаптивного принципа. Для этого в алгоритме функционирования вводится коэффициент k . Его значение принимается равным единице, если для сети, где устанавливается защита, принцип адаптивности не применяется. Значение, отличное от единицы, вводится для пересчета уставок в случаях, когда используется принцип адаптивности для улучшения чувствительности. Так, для несимметричного повреждения значение тока срабатывания МТЗ будет приниматься равным:

$$I_{cp2}^{III} = kI_{cp1}^{III},$$

где I_{cp1}^{III} – ток срабатывания защиты, рассчитанный для симметричного КЗ.

Результаты вычислительного эксперимента, учитывающего описанный подход при реализации алгоритма функционирования адаптивной МПТЗ, показывают, что при $k = 0,87$ чувствительность защиты увеличилась в 1,15–1,2 раза, что позволяет в некоторых случаях снять ограничения по применению данного вида защиты. Значение коэффициента k было принято равным 0,87 исходя из того, что на практике при расчетах токов короткого замыкания ток двухфазного КЗ в определенной точке схемы замещения электрической сети принимается равным 0,87 тока трехфазного КЗ в той же точке.

Применение адаптивного алгоритма работы может снимать ограничения, налагаемые на применение токовых защит в некоторых случаях, и может быть использовано на практике в современных микропроцессорных терминалах в качестве токовой защиты от междуфазных коротких замыканий линий 6–35 кВ.

**Использование
генератора импульсных напряжений
для формирования углеродных трубок**

Красько А.С., Пономаренко Е.Г., Ржевская С.П.
Белорусский национальный технический университет

Перспективным направлением современной науки являются нанотехнологии и наноматериалы. Одним из направлений таких технологий является получение углеродных нанотрубок (УНТ) [1]. В работе [2] предложен процесс формирования УНТ в деионизированной воде с использованием импульсного стриммерного разряда. В качестве источника импульсного напряжения использовалась линия передачи Блюмлейна.

В лаборатории ТВН БНТУ были выполнены аналогичные опыты с использованием генератора импульсных напряжений (ГИН), предназначенного для импульсных испытаний изоляции.

Как показали результаты опытов, для формирования УНТ может быть использована схема ГИН, однако для оптимизации режима формирования УНТ необходимо обеспечить плавное регулирование частоты и амплитуды электрического разряда.

В данной работе предлагается конструкция ГИН, позволяющая плавное регулирование указанных параметров в процессе испытания.

Это достигнуто за счет плавного регулирования питающего напряжения и плавного регулирования междуэлектродных промежутков умножителя напряжения.

Результаты испытаний показали, что предлагаемая схема может быть применена для формирования УНТ.

Литература

1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии / под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса, П. Аливисатоса. – М.: Мир, 2002.
2. Imosaka R. Preparation of water-soluble carbon nanotubes using a pulsed streamer discharge in water / K. Imasaka, J. Suehiro, Y. Kanatake, Y. Kato, M. Hara / Nanotechnology. – 2006. – Vol. 17. – P. 3421–3428.

Методические указания по расчету электродинамической стойкости гибких шин ОРУ

Пономаренко Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Гибкие шины распределительных устройств под воздействием весовых, климатических и электродинамических нагрузок могут принимать в пространстве положение, обусловленное этими нагрузками. Наиболее опасным является электродинамическое воздействие токов КЗ, которое может привести к недопустимому по условию электрической прочности воздушного изоляционного промежутка сближению проводников соседних фаз.

ГОСТ 30323-95 предлагает методы расчета электродинамического действия токов КЗ. Там же определены критерии электродинамической стойкости пролетов с гибкими шинами. При расчете электродинамической стойкости в ГОСТ упор делается на упрощенные аналитические методы, которые позволяют рассчитать отклонения проводников при КЗ с использованием явных формул и диаграмм. Однако при таком расчете не учитываются конструктивные элементы пролета, такие как гирлянды изоляторов и спуски к электрическим аппаратам. Также не учитывается гибкость порталов и изменение кривой формы провода при КЗ. Вместе с упрощенными методами ГОСТ рекомендует использование компьютерных программ.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ были разработаны упрощенные методы расчета электродинамического воздействия токов КЗ, с использованием импульса электродинамических усилий и геометрических размеров пролета. Кроме того, с использованием дифференциальных уравнений движения провода как гибкой нити, была составлена компьютерная программа для расчета движения проводов при КЗ, которая учитывает конструктивные элементы пролета, а также климатические условия и характеристики короткого замыкания.

Рекомендации по применению разработанных методов на практике изложены в методических указаниях.

Алгоритм функционирования адаптивной токовой защиты микропроцессорной защиты линий

Романюк Ф.А., Тишечкин А.А., Румянцев В.Ю.,
Новаш В.И., Глинский Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Параметры срабатывания токовых защит рассчитываются заранее, исходя из наиболее тяжелых режимов работы оборудования, и остаются неизменными при изменении режимов работы сети. В результате создаются большие расчетные запасы. Однако такие тяжелые расчетные режимы могут существовать непродолжительное время, и их учет приводит к неоправданному замедлению и загромождению устройств релейной защиты.

Улучшить основные показатели технического совершенства токовых защит можно путем использования адаптивных токовых защит, автоматически изменяющих свои характеристики в зависимости от вида короткого замыкания (КЗ), изменения режимов работы распределительной сети и ряда других влияющих факторов. Это приводит к необходимости усложнения алгоритмов работы защиты, что не является определяющим при использовании современной микропроцессорной элементной базы и цифровых методов обработки входной информации.

В данной работе разработаны алгоритмы адаптивных направленных и ненаправленных токовых защит линий. Алгоритмы предполагают наличие двух групп уставок: для трехфазного КЗ и для несимметричных КЗ. В схему защиты вводится орган определения расстояния до места КЗ. Реализация такого алгоритма ориентирована на использование их в защитах на микропроцессорной элементной базе. Для исключения зависимости параметров органа направления мощности (ОНМ) от частоты предлагается численные значения тока и напряжения при обработке их программой реле представлять в виде ортогональных составляющих. Для устранения мертвой зоны ОНМ принята работа этого органа «по памяти».

Параметры алгоритма функционирования адаптивной защиты оценивались и уточнялись путем моделирования переходных процессов в линии и в цепях защиты с использованием системы динамического моделирования Simulink-Matlab.

**Разработка методики вычислительного эксперимента
для исследования алгоритмов функционирования
адаптивных микропроцессорных токовых защит**

Романюк Ф.А., Тишечкин А.А., Румянцев В.Ю.,
Глинский Е.В., Бобко Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Реализация вычислительного эксперимента включает в себя этапы построения математического описания объекта, разработки алгоритма решения полученной системы уравнений, написания компьютерной программы и проведения самого вычислительного эксперимента. При использовании системы динамического моделирования (СДМ) (например, Simulink комплекса Matlab) исключаются этапы составления математического описания, разработки алгоритмов и написание программ. Однако не все элементы трехфазной высоковольтной сети имеются в библиотечном наборе СДМ.

В настоящей работе выполнено моделирование переходных процессов в нагруженной линии напряжением 6-10 (35) кВ, связанной через понизительный трансформатор подстанции с системой, с помощью СДМ Simulink. Результаты моделирования сопоставлены с результатами моделирования переходных процессов в такой же схеме при помощи специального программного комплекса подстанции, разработанного на кафедре «Электрические станции», в котором электрические и магнитные цепи элементов схемы традиционно описаны уравнениями Кирхофа.

Результаты расчета, полученные в ходе эксперимента в среде Simulink-Matlab, достаточно адекватно отражают реальные процессы и могут быть использованы для оценки поведения устройств релейной защиты. Различие можно объяснить, например, отсутствием модели трехфазного трансформатора в наборе библиотечных модулей программы Simulink, и его приходится заменять тремя однофазными трансформаторами. Для повышения точности получаемых результатов необходима разработка отсутствующих библиотечных модулей для программы Simulink.

Расчет пляски проводов воздушных ЛЭП с гасителями маятникового типа

Сергей И.И., Климкович П.И.

Белорусский национальный технический университет

Пляска проводов обоснованно считается наиболее опасной разновидностью колебаний, имеющих место на воздушных ЛЭП. В соответствии с крутильной теорией пляски аэродинамическая нестабильность проводов, покрытых асимметричным гололедом, возникает при совпадении их вертикальных и крутильных колебаний. Поэтому для расстройки автоколебаний можно воздействовать на частоту крутильных колебаний проводов установкой вдоль пролета гасителей маятникового типа. Разновидностью указанных гасителей являются вертикальные и горизонтальные маятники.

В докладе излагается разработанный численный метод расчета пляски проводов воздушных ЛЭП при различных схемах установки и параметрах горизонтальных и вертикальных маятников. В основу положена расчетная модель провода в виде гибкой упругой нити, сопротивляющейся растяжению и кручению. Составлены уравнения вертикальных, горизонтальных и крутильных колебаний проводов при пляске под действием аэродинамических сил и моментов, которые определяются с использованием опытных аэродинамических характеристик для сил и моментов. Поставлена краевая задача Коши с начальными условиями. Провод разбивается гасителями на участки и в точках их установки координаты и углы кручения провода определяются из уравнений динамики гасителей под действием приложенных от проводов сил и моментов.

Поставлен вычислительный эксперимент по оценке схем оптимальной совместной установки вертикальных и горизонтальных маятников. Определены первоначальные углы установки горизонтальных крутильных маятников, при которых после монтажа они занимают положение, близкое к горизонтальному. Найдены предельные углы откручивания маятников после монтажа, при которых они справляются с гашением пляски проводов. Выполнен анализ влияния веса вертикальных и горизонтальных маятников на амплитуды пляски и их ограничение.

Проблемы и перспективы подготовки и переподготовки инженерных кадров энергетики Республики Беларусь

Силюк С.М.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время подготовка подавляющего большинства инженеров-электриков и 100 % инженеров-теплоэнергетиков выполняется в БНТУ. Учебный процесс обеспечивают 125 преподавателей. Существенную помощь в развитии материально-технической базы факультету оказывает ГПО Белэнерго. Процесс подготовки специалистов должен быть ориентирован на энергосберегающие технологии. Требуется улучшения организация практик. Требуется обновление лабораторной и учебно-методической базы. Требуется также омоложение профессорско-преподавательского состава, средний возраст которого в настоящее время составляет 60 лет.

Концепция единой системы подготовки специалистов для энергетической отрасли предусматривает переход к принципу ранней специализации студентов уже на последних курсах обучения по категориям (подготовка специалистов под заказ):

- инженерно-эксплуатационный персонал;
- ремонтно-наладочный персонал;
- инженер-конструктор, проектировщик;
- инженер-исследователь (подготовка научных работников).

Такой подход требует значительного участия ГПО «Белэнерго» в финансовых расходах на обучение.

ГПО «Белэнерго» ведет строительство учебно-лабораторного корпуса и отраслевого центра подготовки и переподготовки специалистов. Начиная с 2008 г. факультет начинает подготовку инженеров-энергетиков и инженеров-теплоэнергетиков для работы на атомных электрических станциях. Открываются филиалы выпускающих кафедр на ведущих предприятиях отрасли. Решение указанных проблем позволит повысить энергетическую безопасность государства.

Об индивидуальном тарифном стимулировании потребителей к регулированию электрической нагрузки

Сычев А.В., Чаус О.В.

Гомельский государственный технический университет

Для стимулирования промышленных потребителей к регулированию совмещенного максимума электрической нагрузки энергосистемы путем смещения графиков электрических нагрузок (ГН) во времени предлагается использовать для расчетов за электроэнергию двухставочно-дифференцированный тариф (ДУТ), но с индивидуальными параметрами (количество, продолжительность и тарифные коэффициенты тарифных зон) для потребителей-регуляторов (ПР).

Для решения задачи выбора параметров ДУТ из условий совмещения интересов потребителя-регулятора и энергосистемы были разработаны математическая модель ГН, отражающая взаимосвязь показателей электропотребления (используемых в ДУТ) и величины смещения ГН во времени, а также алгоритм определения параметров ДУТ.

Определение параметров ДУТ выполняется итерационным путем в программе на языке VBA исходя из следующих требований: 1) переход на дифференцированный тариф не должен приводить к изменению стоимости электроэнергии при отсутствии регулирования (смещение отсутствует); 2) удельное снижение стоимости электроэнергии для потребителя при смещении ГН в заданном направлении на каждый час сдвига должно быть не ниже значения $\Delta\Pi_{\text{жел}}=4,5-6\%$; 3) значения тарифных коэффициентов ограничены пределами – для льготной зоны $k_{\text{лг}}=0,4-0,8$; для штрафной зоны $k_{\text{шт}}=1,5-3,5$.

По результатам исследования графиков нагрузок 34-х предприятий г. Гомеля были выявлены 18 потребителей-регуляторов, смещение нагрузок которых приводит к снижению максимума энергосистемы на 5%. Для ПР определены индивидуальные параметры ДУТ, обеспечивающие снижение стоимости потребляемой электроэнергии на 3–11%. Значения индивидуальных параметров дифференцированного тарифа составили: количество штрафных тарифных зон – 1–3, льготных – 1; тарифные коэффициенты $k_{\text{лг}}=0,5-0,8$, $k_{\text{шт}}=1,8-3,4$.

Применение промышленного контроллера для автоматизации управления термопечью

Сычѳв А.В., Ивинский Л.К., Нестеров А.А.

Гомельский государственный технический университет

Для снижения энергоемкости термической обработки в многогорелочной камерной термопечи кузнечного цеха завода Гомсельмаш предлагается автоматизированная система управления термопечью на базе специализированного промышленного контроллера СПЕКОН СК5-01, позволяющая автоматически поддерживать температуру и оптимальный режим горения газа в печи и, в конечном счете, экономить топливо.

Разработана схема управления термопечью и составлены схемы подключения контроллера СК5 к питающей сети, его выходных сигналов к исполнительным механизмам, а также входных аналоговых и релейных сигналов к контроллеру.

Контроллер по заданной программе осуществляет прогрев печи и поддержание рабочего режима с оптимальными параметрами разряжения воздуха в дымососе (в зависимости от давления газа) и регулирование подачи воздуха с помощью заслонки на выходе уходящих газов (регулирует давление/разряжение уходящих газов) в зависимости от показаний газоанализатора СО. Кроме того, контроллер при каждом цикле пуска печи отслеживает состояние герметичности запорных клапанов.

Ожидаемая экономия топлива от внедрения автоматизации режима горения и устранения химической неполноты сгорания в нагревательных печах всех типов: 0,001–0,005 т у.т. на 1 т изделий (по данным инспекции Энергонадзора УП «Минскэнерго»). При производительности печи 1000 кг/час, времени работы печи в сутки 18 ч и полезном фонде рабочего времени 217 дней/год ожидаемая экономия топлива составит $\Delta Э = 433 - 2175$ у.е./год, а срок окупаемости при ориентировочных капитальных затратах $K = 1530$ у.е. составит $C = 0,7 - 3,5$ года.

Внедрение автоматизированной системы управления термопечью за счет точного регулирования температуры и выдержки времени, устранения химической неполноты сгорания топлива позволит снизить брак продукции и удельный расход топлива на 1 тонну обрабатываемого металла.

Текущий контроль знаний на сайте

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Объективный и систематический контроль знаний студентов является важнейшим средством управления учебным процессом, содействует повышению уровня преподавания и усилению ответственности студентов за качество своего учебного труда.

Сайт www.electronics.bntu.edu.by предназначен для всех, кто интересуется электроникой, изучает ее в вузах. Автор является главным руководителем и администратором портала.

На сайте представлены: лабораторные практикумы, методички РГР, плакаты, практические занятия, презентации, сканированные книги, ссылки, учебные программы и литература, электронные пособия, вопросы к экзамену и зачету. Имеются рубрики «Новости», «Проверь себя», разделы «Вопрос-ответ», «Юбочнику», «Контроль знаний». Рассматриваются инновационные технологии, современное развитие электроники.

В разделе «Контроль знаний» и в рубрике «Проверь себя» регулярно появляются контрольные вопросы, чаще всего связанные с темой последней лекции. Студенты отвечают на них, сравнивают свои ответы с другими и с ответом лектора. Это способствует закреплению пройденного материала, ведь для поиска правильного ответа приходится перерабатывать немалый объем информации. Все ответы поступают в виде комментариев, которые перед опубликованием просматриваются лектором-модератором.

Опубликованные преподавателем ответы студентов просматриваются ими не раз для того, чтобы убедиться в оценке своего труда, что способствует еще большему усвоению материала, так как они видят все правильные ответы. Наградой за контрольный вопрос является появление ответа и фамилии ответившего на сайте.

Рубрика «Проверь себя» систематически обогащается вопросами и ответами, с каждым контролем знаний становится все более информативной. Легкодоступная, она делает учебный процесс увлекательным занятием.

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Решение уравнений статики гибких проводов реализовано в компьютерных программах, позволяющих определить стрелы провеса и тяжение проводов и оптических кабелей под действием гололедных и ветровых нагрузок. Программы учитывают разность высот подвеса, гирлянды изоляторов, распорки, а также отпайки к электрическим аппаратам. Программы пригодны для расчета монтажных режимов при способе монтажа с одной гирляндой в пролете и различных вариантах монтажа отпаяк, а также позволяют решить обратную задачу: по известной стреле провеса определить тяжение.

Расчет проводов может выполняться в 12 климатических режимах. Расчет климатических нагрузок выполняется согласно ПУЭ 2003 года. При задании двух исходных режимов программа выбирает более тяжелый режим климатических нагрузок, при котором усилие от проводов на опоры максимальны. В этом режиме по заданному тяжению или стреле провеса производится расчет длины гибкого провода до растяжения, которая является основой для расчета остальных режимов.

Последняя версия пакета программ MR № 2.20 от 1.12.2007 имеет одну интегрирующую Windows-оболочку, подключающую собственно программы механического расчета, файлы исходных данных, каталоги проводов и гирлянд изоляторов. Новая оболочка, написанная в Delphi, позволяет выбрать файлы исходных данных и результатов расчета, просмотреть последние. Работу с программами упрощает встроенная помощь, диагностика исходных данных, наличие каталогов проводов и гирлянд изоляторов, а также возможность их корректировки и обновления. В пакете имеются контрольные примеры расчета, инструкция, методика, аннотация, рисунок, поясняющий геометрию пролета. Программа учитывает варианты расположения натяжных и подвесных гирлянд изоляторов, причем расчет отклонения подвесных гирлянд изоляторов ведется с учетом влияния смежных пролетов.

Пути экономии электроэнергии промышленного предприятия

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

По обобщенным данным потребление электроэнергии в промышленности приходится на три категории потребителей: электропривод, технологические процессы и освещение. При этом основным потребителем является электропривод, доля которого в потреблении электроэнергии промышленного предприятия в наиболее развитых странах составляет от 60 до 70%.

Наиболее массовым двигателем электропривода в промышленности является асинхронный двигатель (АД). Несмотря на известные достоинства АД принцип его работы предусматривает наличие реактивной мощности и максимальный коэффициент мощности 0,85-0,9. Дополнительный фактор снижения коэффициента мощности – недогрузка электропривода. Анализ причин недогрузки АД показывает, что в большинстве случаев они объективны и существенным резервом экономии электроэнергии не станут.

В Республике Беларусь, в настоящее время, тарифы за потребляемую электроэнергию не зависят от реактивной мощности, что создает дополнительные экономические стимулы развития промышленности. В России тарифы за потребляемую электроэнергию с увеличением реактивной мощности у потребителя существенно возрастают. Представители РАО «ЕЭС России» выдвигают новые предложения ужесточения режима потребления электроэнергии до пределов коэффициента мощности 0,93-0,98. Российские потребители электроэнергии объединяются для защиты своих экономических интересов, так как считают эти требования необоснованно завышенными.

В настоящее время отечественный потребитель электроэнергии в промышленности находится в очень выгодных условиях, способствующих его развитию. Новые нормы оплаты за потребляемую электроэнергию в дальнейшем будут учитывать и реактивную мощность, однако при этом не следует забывать об общих интересах и объективных обстоятельствах.

Использование компьютерных моделей как альтернатива лабораторным занятиям по электронике и электротехнике

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

При изучении предметов «Электроника» и «Электротехника» проводится большое количество лабораторных работ на стендах, потребляющих электроэнергию. В целях ее экономии работы по ряду тем можно проводить на компьютере, особенно в период устранения задолженностей студентами, когда по организационным причинам эффективность использования лабораторных установок существенно снижается.

Наиболее эффективными средствами для этого могут быть компьютерные модели с использованием различных видов компьютерной графики. Растровая графика дает очень широкие возможности для ввода изображений с цифровых фото и видеокамер. Использование компактного фильма с отражением порядка выполнения и основных результатов лабораторной работы в совокупности с проверкой теоретических знаний студентов является достойной альтернативой традиционной лабораторной практике, особенно в периоды перегруженности лабораторий. Векторная графика позволяет создавать модели, отражающие особенности физических процессов в электронных схемах и электрических цепях. При этом векторная графика лишена двух основных недостатков растровой графики: необходимости обработки и хранения большого объема данных; невозможности увеличения изображения без потери качества. Полученные изображения объектов можно увеличивать до отображения самых мелких элементов (движение электронов при протекании электрического тока). Фрактальная графика позволяет дополнительно экономить память компьютера, т.к. никаких объектов хранить не нужно: они строятся по системе уравнений. На первоначальном этапе создания программных продуктов наиболее эффективно создание учебных фильмов. Другие виды компьютерной графики дополняют эти модели отображением абстрактных физических процессов в схемах.

**Прогнозирование нагрузок узлов энергосистем
с сезонной регистрацией величин нагрузок**

Домников С. В., Згаевская Г. В.

Белорусский национальный технический университет

При решении задач управления производственной деятельностью энергосистем всегда имеет место неполнота исходной информации, связанная, в частности, с отсутствием возможности прогнозирования с помощью обычных статистических методов значений отдельных режимных параметров, которые должны входить в качестве констант в формулировки подзадач принятия решений. Такими параметрами являются, например, почасовые значения активных нагрузок (суточные графики) в некоторых узлах основной сети энергосистем, режим которых централизованно контролируется лишь в периоды сезонных изменений в энергосистемах.

Если в энергосистеме реализовано автоматическое прогнозирование регулярно регистрируемых режимных параметров в важнейших узлах основной сети, то имеется возможность на основе подходящей формализации рассуждений по аналогии построить соответствующие алгоритмы прогнозирования недоступных для измерения параметров остальных узлов основной сети.

В докладе показано, что содержательному смыслу задачи соответствуют специально приспособленные алгоритмы раздела теории распознавания образов, называемого кластерным анализом. Эти алгоритмы основаны на автоматическом выделении по результатам контрольных замеров классов узлов, суточные графики нагрузок которых наиболее близки к графикам соответствующих сезонно контролируемых узлов с последующей оценкой требуемого суточного графика каждого сезонно контролируемого узла по прогнозам на те же сутки графиков постоянно контролируемых узлов.

Рассмотрен выбор метрики пространства образов и предложены алгоритмы: а) построения кластеров; б) определения прогноза суточного графика сезонно контролируемых узлов; в) текущей коррекции состава кластеров.

**Оптимизация распределения активных мощностей
между агрегатами электростанций
методом динамического программирования**

Домников С. В., Згаевская Г. В.

Белорусский национальный технический университет

Традиционно для решения задач оптимального распределения активных мощностей между генераторами электростанций, целью которой является поиск таких величин активных мощностей генераторов, при которых заданная суммарная мощность станции в течение интервала управления будет вырабатываться с минимальным расходом топлива, используется метод неопределенных множителей Лагранжа (метод удельных приростов).

Так как в реальности характеристики удельных приростов агрегатов не всегда бывают выпуклыми, то метод удельных приростов в этих случаях неприменим. Другим его недостатком является возможность определения в ряде случаев локального, а не глобального минимума расхода топлива. С другой стороны при решении сложных оптимизационных задач планирования работы электроэнергетических систем (ЭЭС) право окончательного выбора решения должно быть предоставлено человеку. С этой целью целесообразно строить алгоритмы так, чтобы помимо оптимального варианта ЭВМ выдавала ряд близких к нему, с точки зрения значения целевой функции, вариантов (субоптимальных). Этим свойством обладают алгоритмы, основанные на методе динамического программирования (МДП). Идея использования МДП для решения задач рассматриваемого типа становится тем более привлекательной, если учесть, что этот метод позволяет максимально упростить расчеты (уменьшить их объем) при переходе к решению подзадач нижнего уровня временной иерархии за счет использования результатов расчетов, полученных при решении подзадач верхнего уровня.

Авторы предлагают ряд общих приемов, расширяющих возможности применения МДП для построения согласованных между собой алгоритмов решения иерархически взаимосвязанных задач оптимизации. В частности, предложен способ быстрого пересчета таблиц прямого хода МДП при частичном изменении целевой функции или ограничений неравенств.

Устройство для обнаружения изделий из ферромагнитных материалов

Мороз Р. Р.

Белорусский национальный технический университет

Производство изделий из пластмассы (пластины, подносы, бутылки, сетки и др.) заключается в том, что расплавленную пластмассу заливают в прессформу и сверху воздействуют матрицей. Если в расплавленной массе находится посторонний предмет (гвоздь, проволока, гайка), то пластмассовое изделие получается бракованным, и, кроме того, повреждается прессформа. Следовательно, возникает необходимость обнаруживать посторонние изделия (ферромагнитные материалы) в расплавленной пластмассе (немагнитной среде). Данное устройство позволяет обнаруживать такие изделия. Это устройство также можно применять на таможне для обнаружения изделий из ферромагнитных материалов (холодное и огнестрельное оружие), пронизимых в одежде и багаже пассажиров.

Принципиальная электрическая схема такого устройства включает в себя генератор высокочастотных колебаний (L, C), переключающий триггер и усилитель.

Схема работает следующим образом. При подключении источника питания в колебательном контуре (L, C) происходят высокочастотные колебания, что приводит к тому, что триггер переходит в одно из устойчивых состояний. Выходной транзистор в этом случае закрыт, и ток через устройство сигнализации не проходит.

При появлении в рабочей зоне изделия (зона действия электромагнитного поля, образованного на торце магнитной системы в режиме автоколебаний) предметов из ферромагнитного материала амплитуда генерируемых колебаний уменьшается, что приводит к тому, что триггер переключается вследствие исчезновения затухания в колебательный контур (L, C). Триггер переключается, выходной транзистор открывается, и через него проходит ток от плюса источника через сигнальное устройство на минус источника. Срабатывает световая (звуковая) сигнализация.

Презентация выпускников электроэнергетических специальностей вузов

Федин В.Т., Озерова Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

Презентация выпускника – новая форма обобщенной характеристики профессиональных возможностей выпускника вуза. Ее смысл заключается в подготовке возможно полной информации о специалисте для потенциального потребителя на рынке труда. Предложен один из вариантов анкеты выпускника на основе самооценки.

Нами было проведено анкетирование среди выпускников кафедры «Электрические системы» БНТУ. На основе самооценки выпускникам необходимо было проранжировать (без указания фамилии) компетенции по 10 балльной шкале: 1 – компетенция, которой выпускники, на их взгляд, совершенно не владеют, 9 – компетенция, которой они владеют отлично, а соответственно 10 – компетенция, которой выпускники владеют превосходно. В анкетировании приняло участие 44 выпускника. Наибольшее количество компетенций были оценены на 6 – 5 баллов. Максимальный балл – 8,2. был проставлен компетенции «Пользоваться глобальными информационными ресурсами». Минимальный балл – 4,6 был проставлен компетенциям: «выявлять патентную чистоту технических решений», «намечать основные этапы научных исследований», «организовывать работу по подготовке научных статей, сообщений, рефератов и заявок на изобретения и лично участвовать в ней». Следует заметить, что ни один студент, ни по одной компетенции не оценил свои знания и умения на отлично либо превосходно (9 – 10 баллов), что говорит о некоторой неуверенности выпускников в своих знаниях. Лишь по одной компетенции выпускники поставили оценку выше восьми. Поэтому, формируя состав и содержание учебных дисциплин, следует обращать внимание на те из них, в которых имеются недоработки. Следует также отметить, что 6 – 5 баллов – это показатель, который надо стремиться увеличивать.

Особенности электромагнитных процессов в системах электропитания индукционных термических установок

Сончик Л. И.

Белорусский национальный технический университет

Преимущества индукционного нагрева металлов перед другими методами обусловили их широкое применение в промышленности [1].

Индукционные термические установки делятся на плавильные печи и нагревательные устройства. В зависимости от частоты источников питания индукционные установки делятся на установки промышленной частоты, повышенной частоты (150 – 10000 Гц), высокочастотные установки (свыше 10000 Гц). По числу фаз индукционные установки делятся на однофазные и трехфазные.

Работа термических установок сопровождается колебаниями нагрузки сети, что приводит к появлению несимметричной системы токов. Несимметрия токов установок в период расплавления металла может достигать 100 %. Поэтому для достижения электромагнитной совместимости термических установок с питающей сетью требуется использовать симметрирующие устройства. В этом случае целесообразным является использовать преобразовательные установки, позволяющие изменять частоту напряжения и обладающие качествами симметрирующего устройства [2].

Трансформирующие устройства индуктивно – емкостной системы выполняют плавное регулирование напряжения. Регулированием параметров отдельных фазных реактивных элементов можно симметрировать трехфазные системы напряжений и токов.

Литература

1. Минеев, Р. В., Михеев, А. П., Рыжнев, Ю. Л. Повышение эффективности электроснабжения электропечей / Р.В. Минеев, А.П. Михеев, Ю.Л. Рыжнев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 108 с.
2. Кулинич, В. А. Индуктивно – емкостные управляемые трансформирующие устройства / В.А. Кулинич. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 176 с.

Конструкции трехфазных трансформаторных преобразователей частоты

Сончик Л. И.

Белорусский национальный технический университет

Сравнение различных типов вторичных источников питания, к которым относятся и преобразователи частоты, показывает, что преобразователи на ферромагнитных элементах с неизменной кратностью преобразования частоты обладают высоким коэффициентом полезного действия и другими достоинствами.

Статические ферромагнитные преобразователи частоты с вращающимся магнитным полем выполняются на базе статора машины переменного тока с впрессованным в его расточку внутренним кольцевым сердечником. Несмотря на наличие зазора и использование шихтованного сердечника, преобразователи с вращающимся магнитным полем обладают хорошими технико-экономическими показателями. Однако следует отдать предпочтение статическим преобразователям трансформаторного типа, которые могут быть выполнены практически на любые мощности и напряжения с технико-экономическими показателями, мало отличающимися от таковых для силовых трансформаторов.

Основным исполнением магнитопровода у нас в стране и за рубежом является планарная шихтованная конструкция с прямыми или косыми стыками.

Возможность использования трехстержневого трансформатора с магнитопроводом планарной шихтованной конструкции в качестве преобразователя частоты весьма ограничена. Магнитный поток третьей гармоники в таком трансформаторе ослаблен вследствие совпадения его по фазе во всех трех стержнях и замыкания от ярма к ярму по воздуху. Поэтому преобразователи частоты на базе магнитопровода планарной конструкции не имеют практического применения.

Выполнение преобразователя частоты возможно путем замены трех однофазных трансформаторов одним пятистержневым. Пятистержневый магнитопровод является несимметричным, но это можно компенсировать усилением ярма.

Детектор радиосигнала на операционных усилителях

Михальцевич Г.А.

Белорусский национальный технический университет

В печати имеется большое количество схем ламповых и транзисторных радиоприёмных устройств (РУ). Между усилителем промежуточной или высокой частоты и низкой частоты в них находится детектор, чаще всего, выполненный на германиевом диоде. В ламповых РУ диод работает при больших амплитудах сигнала и нелинейностью его вольтамперной характеристики можно пренебречь. Транзисторные переносные РУ, в основном, питаются от аккумуляторов или батареек с суммарным напряжением 3...12 В и нелинейные искажения при детектировании германиевым диодом достигают 3...7 %. Чем меньшее напряжение питания, тем большие нелинейные искажения при детектировании. Уменьшить нелинейные искажения при детектировании, можно применив специальную схему синхронного детектора или с помощью операционного усилителя (ОУ), уменьшающего нелинейность вольтамперной характеристики диода.

В стационарных приборах и РУ, питаемых от промышленной сети, в которых есть стабилизаторы на напряжение 9...30 В, можно применить широко распространённые быстродействующие ОУ типа КР544УД2, КР574УД1, КР140УД11 (Рисунок 1).

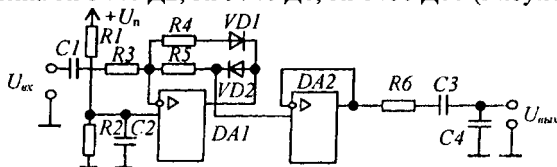


Рисунок 1 – Детектор на операционных усилителях

Применение в данной схеме высокочастотных малощумящих ОУ, например типа LMH 6624, со скоростью быстрогодействия 350 В/мкс, полосой пропускания 1.5 ГГц и напряжением питания 5 В можно детектировать амплитудно-модулированные сигналы до 30 МГц с низкими нелинейными искажениями ($\leq 0.5\%$) и применять его в переносной аппаратуре.

Выбор оптимальной мощности фильтр-компенсирующего устройства

Устимович В.А.

Белорусский национальный технический университет

С целью усиления экономической ответственности потребителей электрической энергии перед энергоснабжающими организациями за поддержание нормальных режимов напряжения на границах балансовой принадлежности электрических сетей разработана инструкция «О порядке расчётов потребителей электрической энергии с энергоснабжающими организациями за реактивную энергию, принимаемую из сети энергосистемы и отдаваемую в сеть энергосистемы». Энергосистема готова платить за отдаваемую потребителем в сеть реактивную энергию в дневные часы суток ($6^{00} - 23^{00}$) и «штрафовать» за отдаваемую в сеть реактивную энергию в ночные часы суток ($23^{00} - 6^{00}$).

В тяговых сетях железнодорожного электротранспорта необходимо устанавливать фильтр-компенсирующие устройства, стоимость которых высока из-за наличия реакторов. С принятием указанной инструкции установка фильтр-компенсирующих устройств может быть выгодной (при соответствующих тарифах на отдаваемую потребителем реактивную энергию).

Нахождение оптимальной мощности компенсации и оптимального расстояния от тяговой подстанции (ТП) до места установки компенсирующего устройства является двумерной задачей нелинейного программирования:

$$\min C_k(Q_k, l), Q_k \geq 0, l \geq 0, L - l \geq 0, \quad (1)$$

где C_k — стоимость электроэнергии, потреблённой за единицу времени в дневные часы суток ($6^{00} - 23^{00}$), тыс.руб.; Q_k — мощность компенсирующего устройства, Мвар; l — расстояние от ТП до места установки компенсации, км; L — расстояние от ТП до конца зоны, км.

Одним из методов нахождения условного экстремума задачи (1) является метод штрафных функций, который позволяет перейти к задаче безусловной оптимизации.

Теплоэнергетика

Применение новых материалов для повышения надежности теплоэнергетического оборудования

Калиниченко А.С.

Белорусский национальный технический университет

Повышение надежности работы теплоэнергетического оборудования является важной задачей обеспечения энергетической безопасности республики. При этом необходимо учитывать, что большинство турбоагрегатов были изготовлены и смонтированы более 30 лет назад. Эксплуатация этого оборудования показала, что для многих агрегатов общими проблемами являются искривления линии вала, проблемы передвижения корпусов опорных подшипников турбины. Традиционно применяемые материалы (фторопласты, агломерированные бронзы) не позволяют в полной мере решить существующие проблемы вследствие ограничений их физико-механических свойств.

В свое время перед специалистами БНТУ была поставлена задача о создании материалов, способных улучшить термомеханическое состояние теплоэнергетического оборудования. При разработке новых материалов за основу были взяты макрогетерогенные композиционные материалы, которые за счет применения различных составов матрицы и упрочняющей фазы (представляющей из себя гранулы размером 0,3-1,6 мм) получать широкий спектр физико-механических и триботехнических свойств, определяющих работоспособность узлов трения. Кроме того, сочетание матрицы на основе медных сплавов и железоуглеродистых гранул позволило создать композиционные материалы с высокой демпфирующей способностью, что способствует повышению вибрационного рейтинга установки. Вначале предполагалось использовать для изготовления проставок для установки в узле продольных шпонок слоистые композиты на основе антифрикционной бронзы и стальной сетки. Однако в ходе испытаний было установлено их недостаточная работоспособность вследствие высоких сдвиговых напряжений в узле. Поэтому для всех узлов трения были использованы макрогетерогенные композиты на основе кремнистых бронз, упрочненных чугунами гранулами.

**Макрогетерогенные композиты,
применяемые для теплоэнергетического оборудования**

Калиниченко А.С., Воронин Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Детали из макрогетерогенных композиционных материалов для узлов трения теплоэнергетического оборудования получали методом жидко-твердого синтеза. Эти материалы характеризуются высоким сочетанием эксплуатационных свойств, а также способностью формировать пленку трения в условиях отсутствия смазки, что повышает надежность работы узла. На макроуровне композиционные материалы представляют собой матрицу на основе медных сплавов, упрочненную чугунными гранулами. Выбор материала гранул (размер частиц 0,5-1,2 мм) был обусловлен способностью чугуна к формированию различной структуры, следовательно, и свойств, в зависимости от режима термообработки. Физико-механические свойства при прочих равных параметрах определяются содержанием упрочняющей фазы. В наших материалах степень армирования лежала в интервале 40 – 60%, что достигалось применением гранул различного диаметра. Для материала матрицы применяли бронзы различного состава в зависимости от условий работы и температуры. Из исследованных сплавов были выбраны кремнистые бронзы с содержанием кремния от 3,0 до 5,5%. Часть сплавов содержала марганец и железо для повышения стабильности физико-механических свойств при повышенной температуре.

Испытания физико-механических свойств разработанных композитов на основе бронз, упрочненных чугунными гранулами, показали, что предел прочности на сжатие составлял до 1700 МПа, а предел текучести при сжатии был выше 300 МПа. Тривибротехнические испытания позволили установить, что коэффициент трения при сухом режиме трения лежал в пределах 0,08 – 0,1 в зависимости от удельной нагрузки. Нанесение специальных консистентных модифицированных смазок позволило снизить коэффициент трения до 0,006-0,05. Разработанные композиты были успешно использованы при реконструкции ряда турбоагрегатов тепловых электростанций.

Применение контактных экономайзеров на газовых котлах

Жихар Г.И., Закревский В.А.

Белорусский национальный технический университет

Задача экономии топлива тесно связана с проблемой защиты окружающей среды. Одной из наиболее сложных задач среди экологических проблем теплоэнергетики является сокращение выбросов оксидов азота котельными установками.

Для использования теплоты уходящих газов на котле ГМ-50-147/250 Жодинской ТЭЦ дополнительно установлен контактный экономайзер, в котором подогревается вода, применяемая на ХВО теплосети и для других нужд.

Во время исследования работы котла с контактным экономайзером выявлено, что при работе котла с включенным экономайзером расход газа на котел при нагрузке 50 т/ч снижается на $120 \text{ м}^3/\text{ч}$. Температура холодной воды, поступающей в контактный экономайзер была $7 \text{ }^\circ\text{C}$, а после контактного экономайзера изменялась от 20 до $39 \text{ }^\circ\text{C}$ в зависимости от расхода воды и нагрузки котла. При нагрузке котла 50 т/ч содержание оксидов азота в уходящих газах при работе котла с контактным экономайзером снижается на 40 % по сравнению с содержанием их в газах при работе котла с отключенным контактным экономайзером. С увеличением скорости газов при прохождении через слой насадки аэродинамическое сопротивление контактной камеры резко возрастает и при скорости газов $3,5 \text{ м/с}$ составляет 1177 Па .

Анализы воды показали, что нагретая вода не представляет опасности с точки зрения коррозионной активности. Содержание нитритов NO_2^- и нитратов NO_3^- в воде после контактного экономайзера увеличилось по сравнению с содержанием их в сырой воде. Это указывает на то, что оксиды азота NO_x растворяются в воде контактного экономайзера, что приводит к существенному снижению концентрации NO_x в продуктах сгорания после контактного экономайзера. Поэтому контактный экономайзер можно рассматривать как двухфункциональный агрегат, т.е. для использования теплоты уходящих газов котлов и как установку для очистки газов от содержащихся в них оксидов азота.

**Оценка экономической эффективности применения
контактных экономайзеров в газопаровых, газотурбинных
и парогазовых установках**

Жихар Г.И., Закревский В.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время при использовании газообразного топлива все более широкое распространение получают газотурбинные установки, парогазовые установки с высоконапорным парогенератором и газопаровые установки. Выполнены расчеты при установке контактного экономайзера за газопаровой установкой при условии, что максимальная температура газов перед камерой смешения $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, а перед газовой турбиной $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температура газов за установкой $170\text{ }^{\circ}\text{C}$. При установке контактного экономайзера за газопаровой установкой температура газа за контактным экономайзером принята $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчеты показывают, что максимальное увеличение КПД газопаровой установки может составить до $26,2\%$. При максимальном числе использования горячей воды 2500 часов в год срок окупаемости установки контактного экономайзера составил порядка $3,3$ месяцев.

Выполнены аналогичные расчеты для определения эффективности установки контактного экономайзера за парогазовой установкой. Температура газа за парогазовой установкой принята $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура уходящих газов за контактным экономайзером равной $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчеты показывают, что при данных условиях КПД парогазовой установки при использовании контактного экономайзера увеличивается на $13,7\%$. Срок окупаемости затрат на установку контактного экономайзера за парогазовой установкой составит около 10 месяцев.

Рассмотрен также вариант установки контактного экономайзера за газотурбинной установкой. Температура газов за газотурбинной установкой принята $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура газов за контактным экономайзером принята как в предыдущих расчетах $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчеты показывают, что КПД газотурбинной установки при использовании контактного экономайзера увеличивается на

31,6% и срок окупаемости затрат на установку контактного экономайзера составляет 7 месяцев.

Таким образом, применение контактных экономайзеров за газопаровыми, парогазовыми и газотурбинными установками является эффективным и целесообразным.

УДК 621.181

Повышение эффективности работы барабанных котлов ТЭС путем внедрения системы мониторинга температурного режима поверхностей нагрева

Карницкий Н.Б., Чиж В.А., Нерезько А.В.

Белорусский национальный технический университет

Образующиеся на поверхности теплообмена теплоэнергетического оборудования малорастворимые химические соединения и продукты коррозии снижают надежность и экономичность работы оборудования. Одним из способов поддержания теплообменного оборудования в работоспособном состоянии является диагностика состояния поверхностей нагрева и своевременное удаление образовавшихся отложений.

Задача технической диагностики процессов образования отложений состоит в том, чтобы определив динамику роста отложений зафиксировать момент времени, после которого котел должен быть отключен для очистки.

Разработана методика обработки теплотехнических и химических показателей работы поверхностей нагрева барабанных котлов, которая основана на предполагаемом соответствии скорости роста температуры металла от отложений. Характер отложений зависит от качества питательной воды, что в свою очередь определяет длительность межпромывочного периода. Предложено вводить поправки учитывающие влияние паровой нагрузки и качество котловой воды.

Диагностирование межпромывочного периода является актуальной задачей, но вместе с тем необходимо учитывать, что в результате химических очисток имеют место:

- недовыработка электроэнергии за счет простоя оборудования;
- расходы на дорогостоящие моющие реагенты;

- трудозатраты на проведение химической очистки;
- необходимость обезвреживания токсичных сточных вод химпромывок.

С учетом вышеприведенных факторов избранный водно-химический режим энергоблоков должен быть таким, чтобы межпромывочный период был наиболее продолжительным – желательно, чтобы он соответствовал длительности между капитальными ремонтами.

УДК 621.165

К вопросу практической реализации различных способов получения резервной мощности теплофикационных турбин

Качан С.А., Тумашевский В.П.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее экономичным способом получения резервной мощности является форсирование агрегатов, что, однако может ограничиваться перегрузочными возможностями основного и вспомогательного оборудования (пропускной способностью турбины, запасом мощности генератора, конденсирующей способностью конденсатора, производительностью тяго-дутьевых механизмов).

Допустимый обвод ПВД при нагрузках, близких к номинальным, составляет не более $1/3 \dots 1/2$ полного расхода питательной воды. При этом удельный расход теплоты на конденсационную выработку электроэнергии q_k может увеличиваться почти на $1/3$, однако в период работы ПВК и минимальном расходе пара в конденсатор, получаемый дополнительный отпуск теплоты вытесняет нагрузку пиковых котлов, что повышает экономичность обвода ПВД.

Вследствие ограничений по пропускной способности ЧСД турбин типа ПТ передача нагрузки П-отбора Q_n на РОУ может сопровождаться увеличением расхода свежего пара и мощности только при величине Q_n , близкой к максимальной, что в современных условиях не характерно.

Ограничение Т-отборов имеет наиболее низкую экономичность получения дополнительной мощности: q_k возрастает в

несколько раз, а при применении обвода сетевых подогревателей по воде еще более значительно. При этом турбины типа Т-50-130 и Т-100-130 (в отличие от турбин типа Т-180-130, Т-250-240 и ТК-330-240) имеют ограничения по пропускной способности ПО-отсека. По этой причине (особенно на режимах одноступенчатого подогрева сетевой воды) снижение отпуска теплоты в Т-отборы не всегда приводит к получению максимальной мощности турбин, поскольку при этом ограничивается максимально возможный расход свежего пара. При высокой температуре охлаждающей воды сокращение нагрузки Т-отборов дополнительно ограничивается происходящим при этом ростом давления в конденсаторе. Наличие отбора позволяет при том же расходе пара в конденсатор повысить расход пара на входе в турбину и получить большую мощность.

УДК 621.165

К вопросу приемистости теплофикационных турбин

Качан С.А., Сенько В.А.

Белорусский национальный технический университет

Для предотвращения потери устойчивости работы межсистемных линий электропередачи и сокращения числа аварийных отключений от энергосистемы при возникновении дефицита мощности изменять мощность первичных источников энергии необходимо с достаточно высокой скоростью: в течение 1...5 с [1].

Однако скорость изменения мощности теплофикационных турбоагрегатов, определяемая их инструкцией по эксплуатации, составляет всего от 0,5...1 МВт/мин для турбин типа ПТ-60-130 до 1,5 МВт/мин для турбин типа Т-100-130 и 3 МВт/мин для блоков с турбинами Т-250-240 и ТК-330-250. Сокращать нагрузку отборов (в том числе для получения резервной электрической мощности) предписывается со скоростью не выше 20...25 т/ч в минуту. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей также ограничивают скорость изменения температуры сетевой воды величиной не более 30 °С в час, то есть 0,5 °С в минуту.

Тем не менее есть возможность более быстрого получения резервной мощности на теплофикационных установках. Так,

получение дополнительной мощности путем обвода подогревателей высокого давления возможно в течение нескольких секунд. Существуют также положительные опытные данные по получению резервной электрической мощности быстрым открытием поворотной диафрагмы, когда в течение нескольких секунд мощность возрастает на 10...18% и даже 30% в зависимости от ее величины на исходном режиме [1, 2]. Таким образом, теплофикационные турбины в принципе могут привлекаться к аварийному регулированию мощности.

Литература

1. Иванов, В. А., Ляпин, Э. А., Капустин, А.Н., Савин, В. Б., Бойко, И. И.. Управление резервом мощности теплофикационных турбин // Электрические станции. – 1974. – № 10. – С. 21 – 24.
2. Эффективность способов получения пиковой электрической мощности на промышленно-отопительных ТЭЦ / А.Д. Качан, Н.И. Шкода, Балабанович В.К., Золотарева В.А., Муковозчик Н.В., Чиж В.А. // Электрические станции. – 1980. – № 2. – С. 31 – 34.

УДК 621.165

Развитие ТЭЦ средних параметров пара в небольших и изолированных энергетических системах

Седнин А.В., Богданович М.Л.

Белорусский национальный технический университет

В качестве одного из приоритетных направлений в развитии теплоэнергетических объектов принято развитие ТЭЦ со средними параметрами свежего пара (ТЭС СП) и пр. ТЭЦ СП характеризуются рядом проблем, решение которых позволило сделать обобщающий вывод: проведение реконструкции объектов энергетики Республики Беларусь, в том числе ТЭЦ СП, направленное на максимальную системную экономию топлива, либо на достижение наибольшего финансовых поступлений в условиях централизованно-вертикального государственного управления энергетическим рынком, всегда сопровождается увеличением годовой выработки электроэнергии. Для больших энергетических систем, таких как в России, США, Китае, увеличение выработки электроэнергии на ТЭЦ СП, можно расценивать как

благо, потому что эти объекты практически не оказывают существенного влияния на участие других электростанций в регулировании суточного графика электрического потребления. Однако для небольших энергетических систем, например для БЭС дополнительная выработка электроэнергии на ТЭЦ СП приводит к увеличению базовой части суточного графика электрического потребления, что вносит дополнительные трудности в участии его регулирования крупными ГРЭС. ОЭС РБ не следует отождествлять с ГПО "Белэнерго", так как в её состав входят промышленные блок-станции (ПБС). Темпы роста установленной мощности ПБС превышают темпы роста установленных мощностей объектов ГПО "Белэнерго" и темпы роста потребления электроэнергии республикой. В этих условиях ни одна ГРЭС ГПО "Белэнерго" сегодня и в перспективе не способна работать в маневренном режиме без привлечения дополнительных мероприятий, которые однозначно приведут к ухудшению технико-экономических показателей отрасли:

1. Создание пиковых источников генерации электроэнергии, например, на базе ТЭЦ СП, с переводом их в маневренные комплексы.
2. Пуско-остановочный, моторный и пр. режимы на ГРЭС.
3. Перевод ТЭЦ на работу по электрическому графику, за счет режимных мероприятий.
4. Перевод ПБС в режим пиковой выработки электроэнергии, путем введения дифференцированного тарифа, в зависимости от характера нагрузки – базовая, полупиковая, пиковая.

УДК 621.165

Повышение эффективности использования топлива за счет более глубокого охлаждения продуктов сгорания

Руденков Б.М., Борухова Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Большая зависимость Республики Беларусь от импортируемых топливно-энергетических ресурсов заставляет энергетиков находить и эффективно использовать местные виды топлива и повышать экономичность использования импортируемых видов

июобразного и жидкого топлива. И, если, на электрических станциях котельные агрегаты работают с К.П.Д. порядка 91-91%, то в мелких котельных, которых в Беларуси более 4000, при внимательном анализе можно найти резервы для повышения эффективности использования топлива и увеличения экономичности работы котельных агрегатов.

Для современных котлов максимальной потерей, определяющей К.П.Д., является потеря теплоты с уходящими газами q_2 , которые зависят в основном от температуры уходящих газов. Формальный анализ зависимости для определения q_2 приводит к выводу, что для достижения максимального К.П.Д. следует до минимума снижать температуру уходящих газов. Однако, многие котлы малой производительности имеют очень высокие температуры уходящих газов (Е-1-0.9 ГМ – 250°C, КП-1-0.6 ГМ – 350°C). При увеличении стоимости топлива и использовании специальных (нетрадиционных) конструкций поверхностей нагрева оптимальная температура уходящих газов может быть снижена до величин, при которых возможно выпадения водяных паров из дымовых газов. Это обстоятельство сильно осложняет условия эксплуатации, а также снижает надежность работы холодных поверхностей нагрева, газовых боронов и дымовых труб и часто является лимитирующим фактором при снижении температуры уходящих газов.

Для снижения негативных последствий конденсации водяных паров процесс этот необходимо сделать управляемым, для чего в газовом тракте котла следует выделить участок с теплообменником специальной конструкции, где и происходила бы конденсация водяных паров. Речь идет о т.н. конденсационных экономайзерах, применяемых за рубежом, но не прижившихся пока у нас.

УДК 621.165

Проблемы проектирования биогазовых комплексов

Седнин В.А., Прокопеня И.Н., Шимукович А.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях современных энергетических и экологических проблем развитие биоиндустрии во многом определяет уровень экономического развития страны.

В основе биотехнологии лежат процессы по своим характеристикам соответствующие природным явлениям, и тем самым позволяют в промышленных условиях добиваться принципа безотходности, т.е. максимально возможного использования сырья для производства продукции и минимального воздействия на окружающую среду. Производство биогаза из бытовых отходов, отходов промышленности и сельского хозяйства является примером применения биотехнологий – как производственного приема, позволяющего решать одновременно энергетическую и экологическую проблему общества.

В связи с тем, что на территории Республики Беларусь практически нет объектов аналогов – можно констатировать отсутствие практического опыта в проектировании подобных объектов. Из всего состава проектируемого оборудования можно говорить, только о появлении опыта в эксплуатации когенерационных установок на природном газе, а получение объективной информации о проектировании и эксплуатации объектов аналогичного типа за рубежом не представляется возможным. Посещение аналогичных объектов в большинстве случаев дает лишь общее представление об объекте, т.к. технические особенности никто не раскрывает. К тому же отсутствует современная нормативная база, которая учитывала бы последние разработки по аналогичным установкам, эксплуатируемым за рубежом.

Что касается оборудования, которое предполагается использовать при создании биогазовых комплексов, то большая его часть производится за рубежом. Фирмы-производители не охотно предоставляют информацию об оборудовании до проведения конкурсных торгов и объявления победителей. Отсутствие сервисной базы на территории республики Беларусь, требует искусственного удорожания (необходимо закладывать резервные единицы оборудования).

Подводя итоги необходимо отметить, что создание и реализация пилотных проектов, приобретение опыта их эксплуатации позволит не только определить оптимальные технические решения, но и по максимуму использовать отечественную промышленную индустрию для создания подобных объектов.

Применение процесса ионного осаждения из растворов для восстановления изношенных поверхностей

Калиниченко В.А., Воробьёв Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Создание рабочих слоев различной толщины и структуры является важной задачей повышения надежности и ресурса работы машин и деталей. Применяя методы ионного осаждения из водных растворов возможно проводить восстановление изношенных рабочих поверхностей подшипников скольжения, поверхностей валов (с гладкой поверхностью и шлицевыми соединениями); восстановление втулок под рычаги рулевых тяг, демпфирующих подвесок, крестовин карданов.

В качестве объекта испытаний были выбраны изношенные посадочные места под подшипники чугунного редуктора. В качестве электролита использовался трёхкомпонентный электролит на основе солей Fe, Mn и Zn, растворённых в воде. Варьируемым параметром была выбрана сила тока от 20 до 100А, влияющая на скорость осаждения. Время каждого испытания составляло 1 час. По истечению заданного времени обработки было получено надёжное металлическое покрытие на поверхности редуктора (рисунок 1).

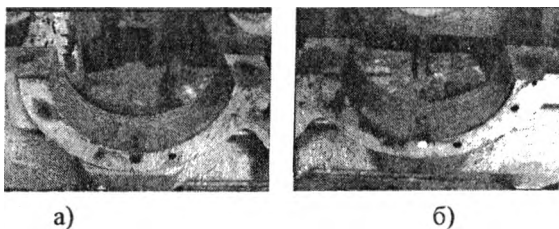


Рисунок 1. Участки обрабатываемого редуктора: а – до обработки, б – с нанесённым покрытием толщиной 1 мм

Результаты испытаний показали, что использование данного метода весьма эффективно для восстановления изделий на основе железоуглеродистых сплавов.

Энергоэффективные технологии

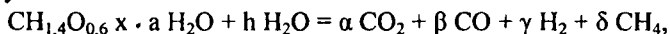
Определение равновесного состава газа при газификации древесной биомассы

Хутская Н.Г., Космачева Э.М., Янцевич И.В.

Белорусский национальный технический университет

В качестве биомассы используется древесная щепа влажностью $W^p = 12\%$, состав продукта газификации которой при температуре $t_{26} = 840\text{ }^\circ\text{C}$ (% по объему): $\text{H}_2 = 35,56$; $\text{CO} = 28,85$; $\text{CO}_2 = 19,98$; $\text{CH}_4 = 10,90$. Формула органической массы древесины имеет вид: $\text{C}_{4,2}\text{H}_{6,0}\text{O}_{2,8}$ или $\text{CH}_{1,4}\text{O}_{0,6}$.

Не учитывая в составе продуктов газификации смолу, уравнение химической реакции паровой конверсии в общем виде будет:



где $a \text{H}_2\text{O}$ – количество собственной влаги топлива на 1 кмоль органической массы древесины; $h \text{H}_2\text{O}$ – количество влаги, поступающей с паром; αCO_2 , βCO , γH_2 и δCH_4 – соответственно, число кмоль CO_2 , CO , H_2 и CH_4 , полученных при газификации 1 кмоль органической массы топлива.

Результаты расчета составляющих теплового баланса камеры газификации и расхода твердого носителя представлены в таблице

Таблица – Тепловой баланс камеры газификации

Составляющие баланса	Обозначение	Величина
Физическая теплота влажной древесины, кДж/кг	$Q_{\text{др}}$	47
Тепловой эффект реакции паровой конверсии, кДж/кг	$Q_{\text{хим}}$	-2708
Суммарная энтальпия продукта газификации	$Q_{\text{прод}}$	4209
Физическая теплота парового дутья, кДж/кг	$Q_{\text{пар}}$	788
Приход теплоты с твердым носителем (по дефициту баланса), кДж/кг	$Q_{\text{тв}}$	6503

Перспективы создания фотовольтаических систем для Республики Беларусь

Червинский В.Л., Кривошеев Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

Солнечная энергия является одной из самых доступных и экологически чистых. Прогнозируется, что в 2030 году установленная мощность, так называемых, фотовольтаических систем (от англ. Photovoltaic - в дальнейшем – PV-систем), в мире составит около 300 ГВт при стоимости 1000 USD/кВт и стоимости электроэнергии 0,05-0,12 € /кВт*ч. К сожалению, в нашей республике в настоящее время процент использования ВИЭ и, в частности, PV-систем ничтожно мал и, поэтому, уже сейчас необходимо радикальное улучшение создавшегося положения. Стоимость PV-электрических станций в основном определяется стоимостью солнечных элементов на основе кремния. Из года в год эта стоимость постоянно снижается.

Основные пути снижения стоимости PV-электрических станций: повышение к.п.д солнечных модулей; увеличение размеров солнечных модулей; снижение расхода кремния на единицу мощности; комбинированное производство электроэнергии и теплоты (когенерация) на PV-электрических станциях; использование гетеропереходных солнечных элементов.

Рассмотрим число часов использования установленной мощности для различных типов станций. Для ТЭС – около 5200 часов в год, для ГЭС – 1000-4500 часов, для АЭС – 8000 часов, для ВЭС – 1200-3000 часов, для PV-электрических станций – 1500-2000 часов, а в перспективе возможно круглогодичное использование PV-электрических станций, расположенных по всему земному шару и связанных магистральными ЛЭП.

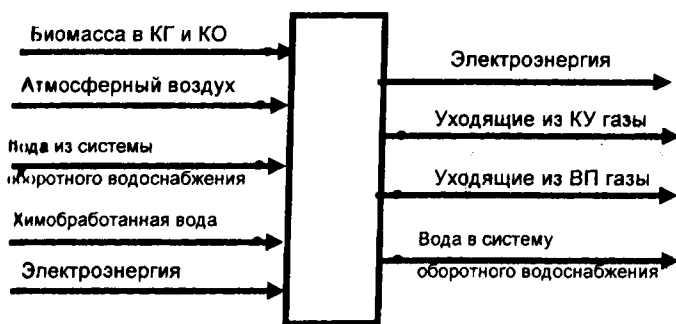
Анализируя современный опыт использования PV-систем для стран со схожими климатическими условиями, в частности Германии, можно констатировать, что использование PV-систем для условий Республики Беларусь актуально практически для всех категорий потребителей, особенно для коммунально-бытовых потребителей. Естественно, что для каждой категории необходимы свои схемные решения PV-систем.

Эксергетический анализ схемы ПГУ с газификацией биомассы

Хутская Н.Г., Космачева Э.М., Янцевич И.В.
Белорусский национальный технический университет

Приходные статьи эксергетического баланса:

Эксергия биомассы, эксергия атмосферного воздуха и воды (принята равной нулю), эксергия электроэнергии, вводимой в систему для привода вспомогательного оборудования.



Структурная схема установки

Полный приход эксергии в систему

$$\sum E' = E_{\text{топл}} + E_{\text{возд}} + E_{\text{воды}} + N_{\text{э}} = 77936 + 0 + 0 + 2520 = 80456 \text{ кВт.}$$

Полезным эффектом системы является выработанная парогазовой установкой электроэнергия:

$$E_{\text{полезн}} = N_{\text{ПГ}}^{\text{э}} + N_{\text{ГТ}}^{\text{э}} = 12 + 21,3 = 33,3 \text{ МВт.}$$

Целевой эксергетический КПД установки

$$\eta_e = \frac{E_{\text{полезн}}}{\sum E'} = \frac{33,3 \cdot 10^3}{80456} = 0,414.$$

Влияние перераспределения магнитных частиц на статику постоянного магнита в магнитной жидкости

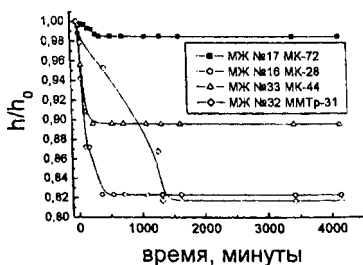
Баштовой В.Г., Климович С.В.

Белорусский национальный технический университет

Магнитная жидкость представляет собой коллоид твердого ферромагнетика. В неоднородных магнитных полях в ней естественным образом имеют место процессы перераспределения магнитных частиц в объеме капли под действием плавающего в ней постоянного магнита. Влияние этих процессов на статику магнитных жидкостей до сих пор практически не изучено. Что явилось предметом данного исследования. При нелинейном распределении напряженности магнитного поля в жидкости магнитные частицы концентрируются в тех областях, где напряженность магнитного поля H больше, в данной области увеличивается намагниченность жидкости и градиенты напряженности магнитного поля имеют наибольшие значения. Поскольку магнитная сила, действующая на объем магнитной жидкости определяется произведением намагниченности на градиент поля, то наблюдается ее нелинейный рост со временем t

Установлено: сила действующая на постоянный магнит в магнитной жидкости уменьшается. Как показано на рисунке, вследствие диффузионных процессов в магнитных жидкостях с различной намагниченностью равновесное положение магнита изменяется со временем.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.



Синтез магнитной жидкости на основе сред с низким давлением насыщенных паров

Сулоева Л.В., Климович С.В., Аббас Фалих
Белорусский национальный технический университет

Магнитная жидкость (МЖ) представляет собой коллоидный раствор дисперсной фазы твердого ферромагнетика в дисперсионной среде. Выбор дисперсионной среды определяется спецификой использования МЖ в технических устройствах.

Представляет интерес синтез магнитных жидкостей на средах с низким давлением насыщенных паров (10^{-7} - 10^{-9} мм. рт. ст.), на основе вакуумных масел ВМ-1, ВМ-3, перфторированного эфира полипропиленоксида марок ПЭФ-180 и FOMBLIN Y, полифенилового эфира Алкарен Д35С.

Задачей синтеза магнитной жидкости является выбор поверхностно-активного вещества, которое обеспечит равномерное покрытие частиц феррофазы с образованием в дальнейшем устойчивого коллоидного раствора магнитной жидкости. На основе ПЭФ-180, FOMBLIN Y, Алкарен Д35С синтезированы методом пептизации. Заключающегося в получении высокодисперсного магнетита соосаждением солей 2-х и 3-х валентного железа гидроксидом аммония, промывке его водой, нагревании и пептизации суспензии магнетита смесью поверхностно-активного вещества с дисперсионной средой с образованием концентрата магнитной жидкости и диспергировании его в необходимом количестве основы для получения магнитной жидкости с необходимыми характеристиками.

В качестве ПАВ для синтеза магнитной жидкости на основе ПЭФ-180 и FOMBLIN Y использованы перфтороксиалкилкарбоновая кислота со степенью полимеризации $n=12$ и этиленгликоль-монофениловый эфир. Синтезированные магнитной жидкости устойчивы к действию центробежных и магнитных сил и имеют намагниченность насыщения 40-45кА/м.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Теплозащитные свойства пенококса

Кривошеев Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

Предложена физико-математическая модель, описывающая перенос тепла в пенококсах, образовавшихся в результате огневого воздействия пожара на вспучивающиеся огнезащитные покрытия. Методика расчета эффективной теплопроводности коксовой шапки основывалась на моделировании физической структуры коксовой шапки и тепловых потоков внутри нее. При описании тепловых потоков внутри коксовой шапки предполагалось, что шапка представляет ряд плоскостей, расположенных на расстоянии друг от друга, равном среднему расстоянию между слоями пор, эта величина практически соответствует среднему размеру пор.

Тепловые потоки рассчитывались отдельно для каждого слоя, расстояние между слоями соответствует диаметру пор. Это позволило учесть изменение теплопроводности материала коксовой шапки и воздуха внутри нее с температурой. Также возникает возможность учесть изменение свойств коксовой шапки в зависимости от размера и распределения пор по толщине шапки.

Предполагая размер пор небольшим, считаем, что конвекция отсутствует и перенос тепла осуществляется конвекцией и излучением. Для системы уравнений, описывающих изменение температуры каждого пористого слоя, составлен конечно-разностный аналог. Полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений решалась численно методом Рунге - Кутты - Фельдберга с автоматическим выбором шага. В результате расчета получены распределения температурного поля на тыльной стороне коксовой шапки и внутри нее при различных значениях параметров процесса. В настоящее время проводятся численные эксперименты по определению влияния различных параметров коксовой шапки на ее теплозащитные свойства.

Установлено, что теплозащитные свойства пенококса существенно зависят от степени черноты материала ε , с уменьшением ε ухудшаются.

Тепловые насосы в машиностроении

Ганжин А.А., Ковалев М.В.

Белорусский национальный технический университет

Основой энергосбережения в настоящее время в отраслях машиностроения является значительное повышение эффективности используемых энергоресурсов – теплоты, топлива, электроэнергии. Фактические КПД действующего оборудования низкие: нагревательные печи – до 15-20%, тепловые установки – до 50-60%. Достаточно высок потенциал вторичных ресурсов, особенно низкопотенциальных. Использование низкопотенциальных ВЭР не требует замены дорогого основного оборудования и изменения технологии. Источниками могут служить тепловые насосы. Их особенность – выход полезной теплоты сравнительно невысокого потенциала до 50-60°C. На предприятиях машиностроения достаточно высокий уровень потребления такого потенциала теплоты для подготовки воды систем горячего водоснабжения (большая численность работающих). Анализ зарубежных систем показывает, что для этих целей наиболее эффективным является использование теплонаносных установок (ТНУ), позволяющих эффективно использовать потоки сливной (оборотной) воды с температурой 10-30°C. Окупаемость таких систем составляет 5-6 лет.

В условиях Республики Беларусь компрессионные ТНУ, использующие для привода компрессора электродвигатели, неэффективны. Причиной является уровень тарифов на электроэнергию и теплоту: соотношение стоимости электроэнергии и теплоты – 3-4:1 (электроэнергия в 3-4 раза дороже). Европейский уровень – соотношение 2:1.

Необходимость изменения подхода к тарификации отмечена в ряде последних публикаций по энергосбережению и вполне вероятен рост стоимости тепловой энергии по отношению к электрической. На данном этапе возможны к использованию компрессионные ТНУ с неэлектрическим приводом компрессора (ДВС, турбина и т.п.) или абсорбционные ТНУ, использующие для работы энергию пара, а не дорогостоящую электроэнергию.

Абсорбционные тепловые насосы

Ганжин А.А., Ковалев М.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на промышленных предприятиях в Республике Беларусь имеется потребность в низкопотенциальной энергии ($50-60^{\circ}\text{C}$), которая может производиться в том числе и с применением тепловых насосов. Например, в системе производства сжатого воздуха теплота сбросной воды системы охлаждения ($20-25^{\circ}\text{C}$) составляет до 25% потенциальных затрат электроэнергии. Имеется потребитель теплоты ВЭР, однако использование компрессионных ТНУ с электроприводом при действующих тарифах на электроэнергию нерентабельно.

Более эффективным является использование абсорбционных ТНУ (АТНУ), использующих для повышения потенциала теплоты пар, а не электроэнергию. На предприятиях машиностроения используется пар 3-6 атм. Выполненные расчеты показывают, что применение АТНУ достаточно эффективно – окупаемость составляет 5-6 лет. Все потоки возможно эффективно использовать в схемах теплоснабжения предприятия, особенно с учетом применения баков-аккумуляторов горячей воды, что позволяет устранить режимные факторы поступления и выдачи теплоты.

АТНУ по конструкции несколько сложнее КТНУ, однако используют обычное теплотехническое оборудование, поэтому значительных проблем с обслуживанием таких установок у предприятий не предвидится. Энергетическая эффективность АТНУ более высокая, т.к. используется для генерации более низкий потенциал (пар вместо дорогостоящей электроэнергии).

Условия для эффективного использования АТНУ присутствуют на многих предприятиях с большой численностью работающих и большим потреблением горячей воды для отопления и бытовых нужд. Также имеется возможность использовать АТНУ в летний период в системах охлаждения и кондиционирования, где в настоящее время используются дорогие затратные системы охлаждения.

Эффективность использования отходов упаковки

Костюкевич Е.К., Березовский Н.И.,

Воронова Н.П., Балобанова Т.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Одной из тенденций белорусского рынка является то, что любая продукция должна быть упакована. В то же время в Республике Беларусь ежегодно образуется около 128 млн. тонн твердых бытовых отходов. Из них более 2 млн. т — отходы потребления, половину которых составляют использованные упаковки.

Утилизация или переработка материалов природного происхождения не представляет сложности, но с полимерами возникают проблемы, поскольку для их рециклинга требуются особые технологии и дополнительные капиталовложения. Сложность ситуации обусловлена тем, что применение полимеров в качестве упаковки стремительно увеличивается. Существует более 20 методов переработки мусора, в рамках каждого из них выделяют 5-10 технологий. Можно выбрать ликвидационный метод или утилизационный (ресурсосберегающий), по технологическому принципу - санитарно-биологический, термический, химический, механический способы обезвреживания и переработки отходов. Существующие технологии рециклинга позволяют делать высококачественное сырье.

Анализ сложившейся ситуации с учетом международной практики показывает, что для достижения экономического эффекта переработки отходов упаковки в Беларуси необходимо привлечение производителей и импортеров к участию в сборе и переработке отходов упаковки; использование специальной маркировки и включение в стоимость упаковки из полимерных и комбинированных материалов затрат на ее утилизацию.

Актуальным также является внедрение принципов "экодизайна", когда возможности повторного использования, безопасной утилизации упаковки закладываются на этапе проектирования.

Аспекты совершенствования преподавания художественных дисциплин для инженеров-конструкторов

Костюкевич Е.К., Розинская Т. Г.

Белорусский национальный технический университет

Образовательный процесс сложный и не ординарный механизм, реализация которого требует в каждом конкретном случае своего индивидуального подхода и специфического решения. Поэтому, перенося весь этот непростой механизм в плоскость информации, необходимо понимать, что информационная составляющая и механизмы её представления должны соответствовать, по своим возможностям, отражать этот процесс во всех своих видах и проявлениях.

При преподавании художественных дисциплин для инженеров-конструкторов с использованием информационных средств на первый план выступает такое их дидактическое свойство, как наглядное и образное предъявление информации.

Практика показывает, что хорошо оформленный, понятный, богато иллюстрированный учебный материал вызывает у обучаемого определенные положительные эмоции, повышают интерес к предмету. При наличии интереса, потребности в овладении учебной информацией активизируется вся психическая деятельность: усиливается концентрация и интенсивность внимания, обостряются чувствительность и наблюдательность, повышается готовность памяти и обеспечивается легкость протекания мыслительных процессов, а, следовательно, и восприятия учебного материала.

Эффективным средством, адекватным информационным технологиям при преподавании художественных курсов для студентов специальности "Упаковочное производство", должна быть, по мнению авторов, электронная лекция-презентация. Созданные учебные материалы в виде лекций-презентаций являются одним из перспективных путей решения проблемы информационной поддержки дисциплины «Цветоведение и колористика», они также могут быть полезны при изучении других курсов, связанных с освоением художественных дисциплин.

Влияние скорости на форму свободной поверхности магнитной жидкости в магнитожидкостном уплотнении

Погирицкая С.Г., Чернобай В.А., Зенько Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Магнитожидкостные уплотнения (МЖУ) являются перспективными устройствами уплотнительной техники. Магнитная жидкость (МЖ) заполняет зазор между вращающимся валом и корпусом и тем самым обеспечивает герметизацию. МЖУ обеспечивает достижение глубокого вакуума в оборудовании вакуумных технологий, исключают утечки химически вредных и агрессивных сред, позволяют обеспечить надежную работу высокоточных систем с микронными и зазорами, исключая попадание пыли, влаги в рабочую зону.

Магнитная жидкость удерживается в кольцевом зазоре высокоградиентным магнитным полем, создаваемой системой постоянных магнитов. Свободная поверхность слоя МЖ формируется под действием центробежных и магнитных сил. Важнейшей характеристикой МЖУ является критическая величина перепада давления, при превышении которого герметизирующий слой разрушается. Она существенно зависит от деформации свободной поверхности. Кроме того, форма поверхности в зазоре влияет на величину тепловыделений в уплотнении и, соответственно, на его ресурс.

В работе были проведены экспериментальные исследования формы свободной поверхности слоя магнитной жидкости в уплотнении при различных скоростях вала. Поскольку силовые линии высокоградиентного магнитного поля близки к окружности, свободная граница жидкости изначально имела форму дуги окружности. При увеличении скорости вращения вала под действием центробежных сил происходит деформация свободной границы. Ширина слоя МЖ, прилегающей к валу, уменьшается. Из этого следует, что уменьшится удерживаемый уплотнением перепад давления. При скоростях больше 40 м/с наблюдается выброс магнитной жидкости из зазора, остается только тонкий слой под зубцом полюса.

Форма поверхности плоского слоя магнитной жидкости в поле постоянного магнита

Рекс А.Г.¹, Налетова В.А.², Грищук Е.А.¹, Никандров Е.С.¹,
Шашков Е.А.¹

¹Белорусский национальный технический университет
²НИИ механики МГУ, Москва, Россия

Работа посвящена исследованию формы свободной поверхности плоского слоя магнитной жидкости в магнитном поле постоянного магнита, находящегося над этой поверхностью.

В неоднородном магнитном поле магнитная жидкость находится под конкурирующим действием силы тяжести и объемной магнитной силы, которая может даже значительно превышать силу тяжести. Для исследования выбрана интересная простая ситуация вертикального направления градиента поля, направленного противоположно силе тяжести.

Описанная ситуация в эксперименте реализована расположением магнита над поверхностью жидкости. В результате действия сил под магнитом на плоской поверхности магнитной жидкости возникает деформация в виде горба, амплитуда которого растет с увеличением градиента поля.

Исследованиями установлены закономерности деформации плоской поверхности магнитной жидкости. Получено, что амплитуда деформации поверхности определяется магнитными характеристиками жидкости, величиной напряженности поля и его градиента.

Показано, что с ростом градиента поля высота горба растет. Причем, если на начальном участке зависимость от градиента поля слабая, то она значительно усиливается в полях с большим градиентом поля. Обнаружено существование критического расстояния между магнитом и поверхностью жидкости (соответственно и значения градиента поля), при котором развивается неустойчивость поверхности - возникает струйное течение с поверхности горба к магниту. Определены условия развития данной неустойчивости.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Устойчивость подвешенных капель магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле

Баштовой В.Г.¹, Налетова В.А.², Рекс А.Г.¹, Тайнова А.А.¹,
Цвирко М.И.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²НИИ механики МГУ, Москва, Россия

В данной работе исследована форма капель магнитной жидкости и условия их отрыва от горизонтальной твердой плоской поверхности и среза цилиндрического капилляра под действием силы тяжести в неоднородном магнитном поле.

Установлено, что влияние неоднородного магнитного поля на устойчивость подвешенных капель магнитной жидкости имеет сложный характер. Исследованиями показано существование двух механизмов влияния магнитного поля. С одной стороны, из-за магнитного скачка давления на поверхности жидкости капля вытягивается вдоль поля, и поэтому в зависимости от направления поля может как уменьшать площадь контакта с поверхностью пластины, так и увеличивать ее (фактор формы). В соответствии с этим изменяются условия отрыва капли. С другой стороны магнитная сила в неоднородном магнитном поле при совпадении с направлением силы тяжести может способствовать отрыву капель и уменьшать объем оторвавшихся капель. Если же магнитная сила направлена противоположно силе тяжести, действующая на каплю результирующая сила уменьшается, тогда критический объем отрыва капли увеличивается.

Исследования выполнены в полях вертикального и горизонтального направлений с градиентами, направленными вертикально вниз либо вверх. Показано, что в полях с малым градиентом поля преобладающее влияние на отрыв оказывает фактор формы капли. В полях с градиентом порядка 10^4 кА/м² существенную роль играет неоднородность поля, но влияние направления поля сохраняется. При одинаковых направлениях градиента наблюдается 2-кратное увеличение объема отрыва капель в горизонтальном поле по сравнению с вертикальным.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

**Информационные
технологии
и автоматизация**

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

В беспроводной локальной сети несанкционированный доступ можно осуществить гораздо проще, чем в проводной, достаточно оказаться в зоне распространения радиоволн этой сети. Для этого существует множество готовых программных средств, например, AirMagnet или AiroPeek. Используя их можно полностью раскрыть содержимое пакетов данных. Для серьезной атаки на беспроводную сеть используются учконаправленные антенны типа gandome или parabolic.

В наиболее распространенном на сегодня стандарте беспроводных локальных сетей 802.11 предусмотрены средства безопасности, которые повышают защищенность беспроводной сети до уровня обычной проводной. Поэтому основной протокол защиты данных в сетях 802.11 так и называется — WEP (Wired Equivalent Privacy — секретность, эквивалентная проводной).

Однако алгоритмы аутентификации и шифрования, определенные в стандарте 802.11 имеют множество недостатков. Система аутентификации, так же как алгоритм WEP-шифрования, могут быть взломаны за короткое время.

Чтобы обеспечить защищенность, масштабируемость и управляемость беспроводных сетей, IEEE разработал улучшенный механизм аутентификации и шифрования. Эти изменения были введены в проект стандарта 802.11i. На сегодняшний день проект 802.11i не утвержден как стандарт, поэтому Альянс Wi-Fi (Wi-Fi Alliance) собрал поднабор компонентов, соответствующих стандарту 802.11i, который получил название "защищенный доступ к Wi-Fi" (Wi-Fi Protected Access, WPA).

Был предложен временный протокол целостности ключа (temporal key integrity protocol, TKIP), который обещает ликвидировать недостатки WEP-шифрования и системы аутентификации в краткосрочной перспективе, а стандарты 802.1X и AES предоставят долговременное решение проблемы безопасности беспроводных локальных сетей.

**Электронный обучающий курс по дисциплине
«Компьютерные сети»**

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время по многим причинам весьма актуальной является задача разработки и внедрения электронных учебников, учебных и методических пособий, лабораторных практикумов. Это и развитие средств вычислительной техники, используемых в сфере образования, и трудности, возникающие при типографском издании работ, и значительные преимущества, свойственные электронным изданиям.

Разработанный электронный обучающий курс по дисциплине «Компьютерные сети» предназначен для студентов специальности 1 - 40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий» и студентов специальности 1 - 40 01 02 «Информационные системы и технологии».

Разработка электронного курса выполнена на основе Web-технологий, включая DHTML и JavaScript, что делает его универсальным и позволяет применять не только на локальном компьютере, но и в Internet и Intranet-сетях. Система не требует установки специального клиентского программного обеспечения. Для работы достаточно иметь один из современных Web-браузеров.

Электронный ресурс содержит теоретическую часть, лабораторные работы, методические указания и задания по контрольным работам, а также список основной и дополнительной учебной литературы. Информационное наполнение электронного издания соответствует программе дисциплины «Компьютерные сети».

Для повышения эффективности изложения материала наряду со статичными рисунками, таблицами и схемами использованы динамические иллюстрации и фрагменты видеofilьмов.

Электронный обучающий курс апробирован на кафедре ПОВТ и АС БНТУ и используется в ходе лабораторных занятий, а также при подготовке студентов к экзамену по дисциплине «Компьютерные сети».

УДК 001:[37+658+338] (063)

Аспекты моделирования бизнес-процессов при определении целей и задач разрабатываемого программного обеспечения

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Приступая к разработке программного обеспечения (ПО), программист-аналитик независимо от стиля программирования (ориентированный на процедуры, объекты, правила "если-то", логику и т.п.) должен решить ряд вопросов, связанных с экономикой, социальной средой, оптимизацией производственного процесса и его автоматизацией. Последнее не возможно без обследования существующей ситуации и внесения рекомендаций по ее улучшению – консалтинга. Как правило, упомянутое обследование включает моделирование бизнес-процессов с построением моделей AS-IS и TO-BE. Модель TO-BE является отправной точкой для определения целей и задач предмета разработки.

Общепризнанными диаграммными техниками для моделирования бизнес-процессов являются IDEF0, DFD и IDEF3. Эти же техники используют и в случае моделирования процессов, реализуемых программными системами (ПС) при системном структурном программировании. Инструментарием для построения таких диаграмм является графический редактор Visio, CASE-средства, AllFusion, Process Modeler и др.

При объектно-ориентированном подходе для моделирования бизнес-процессов находят применение не только диаграммы, перечисленные выше, но и диаграммы вариантов использования, диаграммы деятельности. Это диаграммные техники унифицированного языка моделирования UML, предназначенные для моделирования объектно-ориентированных программ, а также процессов другой природы, в том числе бизнес-процессов. Инструментарием в этом случае является графический редактор Visio либо CASE-пакеты Rational Rose, Rational XDE и др.

В любом случае моделирование бизнес-процессов способствует их успешной реорганизации и созданию качественного ПО для их автоматизации.

**Статистический анализ и моделирование
случайных процессов в электронной таблице EXCEL
с применением VBA**

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Широкие возможности электронной таблицы EXCEL (встроенные функции: математические, статистические, финансовые; встроенные специализированные компоненты: математические методы, пакет статистического анализа; средства деловой графики; возможности обмена данными с другими программными средствами, в том числе с базами данных (БД), языком VBA и др.) позволяют использовать эту электронную таблицу в качестве универсального средства статистической обработки любой информации. Конечными пользователями при этом могут быть люди далекие от программирования. Правда, им приходится довольствоваться лишь частью предлагаемого сервиса.

Существенно большими возможностями обладают пользователи встроенного в EXCEL языка VBA. Им нет необходимости прибегать лишь к услугам пакета статистического анализа, предложенным разработчиками, который, являясь весьма универсальным, не может полностью удовлетворить их запросы. В последнем случае пользователи, знакомый с основами VBA, может создать свои формы для решения конкретной задачи. Богатый набор статистических функций, встроенных в EXCEL, позволяет их использовать не только рядовым пользователем этой электронной таблицы, но включать эти функции в код VBA более "продвинутыми" пользователями, используя конструкцию Application.имя функции, что позволит коренным образом модифицировать функциональные возможности EXCEL. Кроме того и VBA имеет немало встроенных функций.

VBA-приложение, модифицирующее сервисные услуги EXCEL, позволяет таким пользователям не только самим более комфортно работать с таблицей, но и адресовать свою разработку пользователям, не знакомым с VBA.

**Об одном подходе программного обеспечения
модифицированного алгоритма решения
дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутта**

Дембовский Л.М.

Белорусский национальный технический университет

Имеются задачи, поведение которых описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями. Решение таких уравнений связано с задачей Коши. Существуют ряд приближенных методов решения подобных задач. В данной работе рассматривается один из них - метод Рунге-Кутта для дифференциальных уравнений первого порядка. Задача Коши для дифференциальных уравнений первого порядка $X'=f(t,x)$ с начальными условиями $X(t_0) = X_0$ заключается в следующем. Пусть X_i - приближенное решение искомого уравнения в точке t_i . Тогда по методу Рунге-Кутта значение уравнения в точке $t_{i+1} = t_i + h$, вычисляется по алгоритму: $X_{i+1} = X_i + \Delta X_i$; $i = 1, n$; $n = (t_k - t_0) / h + 1$ - это кол. шагов; h - шаг интегрирования. Здесь: $\Delta X_i = (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) / 6$; $K_1 = hf(t_i, X_i)$; $K_2 = hf(t_i + h/2, X_i + K_1/2)$; $K_3 = hf(t_i + h/2, X_i + K_2/2)$; $K_4 = hf(t_i + h, X_i + K_3)$. Коэффициенты K_1, K_2, K_3, K_4 характеризуют метод Рунге-Кутта, и по их количеству он получил название метода Рунге-Кутта 4-го порядка.

Исходными данными для решения диффузов приближенными методами являются:

1. (t_0, t_k) - интервал от начального значения t_0 до конечного значения t_k , на котором ищется решение;
2. h - шаг интегрирования;
3. $X(t_0) = X_0$ - начальные условия;
4. вид дифференциального уравнения f (f - правая часть уравнения).

Особенность метода Рунге-Кутта заключается в необходимости вычисления коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4 . Это обстоятельство позволяет при программировании на PASCAL рекомендовать подпрограмму PROCEDURE (определение K_1, K_2, K_3, K_4) и FUNCTION (вычисление правых частей диффузов). Такой подход дал возможность создать компактное ПО, прошедшее практическую апробацию при тестировании диффузов первого порядка.

**Инновационные элементы при изучении дисциплины
“Основы алгоритмизации и программирования“**

Дембовский Л.М.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что около 35% выпускников наших технических вузов подготавливаются по специальностям и специализациям в области техники и технологии. Естественно, что это накладывает высокие требования к уровню организации и проведения учебного процесса, качеству подготовки абитуриентов, учебным программам и их практической реализации. Какую картину в современных условиях мы наблюдаем?

Хотелось бы видеть солидный уровень образования, который позволяет той или иной стране претендовать на достаточно высокую роль в мировом сообществе. Вот почему так велика сегодня ответственность высших учебных заведений перед обществом и государством. Попытаюсь высказать некоторые положения, сложившиеся из многолетней практики работы со студенческой молодёжью. Речь, прежде всего, идет о подготовке специалистов, которые должны обладать не только высокой профессиональной квалификацией, но и способных организовывать производство конкурентно-способной продукции, имеющих знания и склонность к нестандартному мышлению при работе в команде и с командой, владеющих определённой инновационной культурой. Поэтому очень важно уже с младших курсов прививать студентам навыки самостоятельной работы, усилить индивидуальную составляющую учебного процесса особенно при проведении лабораторных и практических занятий, тщательно подготавливать формулировки контрольных вопросов, смещая акцент на поиск студентом не просто правильного ответа, а проведение им сравнительного анализа для последующего выбора наиболее рационального решения. Опыт показывает, что такой подход позволяет даже менее подготовленному контингенту более осмысленно осваивать изучаемую дисциплину.

**Программное обеспечение
для выбора маршрута обработки базовых поверхностей
шестерен**

Ковальков А.Т., Кане М.М.

Белорусский национальный технический университет

Алгоритм выбора маршрута изготовления шестерен базируется на результатах работы [1]; где показано, что приемлемым с технической точки зрения можно считать такой процесс изготовления шестерни, который обеспечивает для каждого из нормируемых по чертежу готовой детали параметров качества соблюдение условия

$$K_{из.об} \leq \prod_{i=1}^m K_{из.i}, \quad (1)$$

где $K_{из.об}$ – общий коэффициент изменения параметра при реализации технологического процесса; $K_{из.i}$ – коэффициент изменения данного параметра на i -й операции; m – число операций технологического процесса.

Последовательность расчета по предлагаемому алгоритму следующая. В зависимости от способа обработки базовой поверхности, состояния технологического оборудования, материала шестерни, ее размеров выбираются коэффициенты $K_{из.i}$ всех возможных для заданных условий обработки операций. Затем для каждого из учитываемых параметров качества задаются общие коэффициенты $K_{из.об}$ и проверяется условие (1). Те варианты обработки, для которых условие (1) выполняется для всех учитываемых параметров качества, рекомендуются к реализации на производстве.

Результатом выполнения программы являются возможные варианты обработки каждой из базовых поверхностей (зубьев, торцов или посадочного отверстия) в виде последовательности выполняемых операций.

Литература

1. Кане, М.М. Управление процессами проектирования и изготовления зубчатых передач / М.М. Кане // Вестник машиностроения.-1997.-№ 11-С.8-12.

Рациональное размещение файлов на компакт-дисках

Ковалькова И.А., Ковальков А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Решается задача размещения на компакт-дисках фиксированной емкости множества файлов, размеры которых могут отличаться друг от друга на несколько порядков, таким образом, чтобы расход дисков был минимальным при условии, что каждый файл должен быть записан на диске целиком без переноса его части на другой диск. Количество файлов может измеряться сотнями и тысячами.

Предлагается следующий алгоритм решения. Входными данными для программы являются: фиксированный объем памяти одного компакт-диска и список (массив) размеров файлов для записи. Исходный список сортируется в порядке убывания размеров файлов и каждому элементу отсортированного списка присваивается порядковый номер. Структурированный список вместе с размером самого короткого файла и объемом компакт-диска передаются в основное рекурсивное правило, выходным параметром которого является список списков файлов, размещаемых на отдельных дисках.

Идея работы основного правила следующая. Из отсортированного структурированного списка последовательно извлекаются элементы, начиная с первого, и заносятся в список файлов, размещаемых на одном компакт-диске, до тех пор, пока очередной выбранный из списка элемент не помещается целиком в оставшееся на диске пространство. После этого список просматривается далее до появления элемента, который вмещается в свободное пространство диска и так далее, пока не будет просмотрен весь список или минимальный элемент списка не вмещается в остаток пространства диска. После заполнения одного компакт-диска из отсортированного списка удаляются элементы, которые уже выбраны для записи на диск, в оставшемся списке находится новый минимальный элемент, и процесс извлечения элементов из нового списка для следующего компакт-диска повторяется.

**Исследование динамики торможения двухосной
мобильной машины**

Мазаник К.И.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе приведены экспериментальные и аналитические результаты исследования динамики торможения двухосной мобильной машины. В качестве объекта исследования был выбран двухосный троллейбус модели АКСМ-321 (РУП «Белкоммунмаш»).

Для проведения аналитических исследований разработана математическая модель, которая учитывает: реальные микронеровности дороги, характеристики подвесок и шин, крутильные жесткости, демпфирование и моменты инерции вращающихся частей трансмиссии и тягового электродвигателя, сопротивление воздуха, возможность торможения с подключенным или отключенным двигателем. Также был проведен комплекс натуральных испытаний указанного троллейбуса, в результате были получены зависимости перемещения, скорости и замедления от времени при экстренном торможении, а также электромеханические характеристики тягового электродвигателя.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Выполнено сравнительное исследование результатов компьютерного моделирования и натуральных испытаний.

2. Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой адекватности математической и программной моделей реальному объекту.

3. Расхождение результатов компьютерного моделирования и натуральных исследований не превышает 10%.

4. Исследован процесс совместного торможения тяговым электродвигателем и рабочей тормозной системой. Установлено, что при совместном торможении повышается тормозная эффективность троллейбуса по сравнению с отключенным двигателем. В частности, время торможения сокращается с 2,8 до 2,6 с, а тормозной путь сокращается при начальной скорости 54 км/ч с 23,7 до 22,6 м. Расчетные данные подтверждены натурным экспериментом.

История и прогноз развития кафедры ПОВТ и АС

Михалевич А.П., Михалевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

28 сентября 1966 года на базе кафедры "Программированное обучение и технические средства" была организована кафедра "Кибернетики и вычислительной техники". За прошедшие 42 года кафедру возглавляли д.т.н., профессора: Фурунжиев Р.И., Панасюк В.И., Останин А.Н., Опейко А.Ф., Ковалевский В.Б. (все они подготовили докторские диссертации на кафедре), Прихожий А.А., к.т.н., доценты: Крипский А.М., Дембовский Л.М., Разоренов Н.А. Благодаря их усилиям кафедра прошла путь от моделирования процессов на аналоговых вычислительных машинах типа МН-7, программирования в условных адресах, на автокоде "Инженер" на алгоритмических языках типа "Фортран", "Кобол", "Алгол", до подготовки специалистов по таким пользующимся спросом специальностям как "Программное обеспечение информационных технологий" и "Информационные системы и технологии".

На начальном этапе все преподаватели кафедры читали лекции на различных факультетах Белорусского политехнического института по дисциплине "Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах" и по специальным предметам типа "Моделирование химико-технологических процессов", "Математические методы в управлении производством". Занятия проводились на ЭВМ типа "Минск-22", "Минск-32", ЕС-1022, ЕС-1035. Преподаватели кафедры принимали активное участие в обучении преподавателей института основам программирования, организации и проведении СНТК и олимпиад по вычислительной технике.

В 1977 году кафедре планировали нагрузку в объеме 15 000 учебных часов, а в настоящее время около 24 000 часов, штат преподавателей (по бюджету) сохранился на уровне 16 ед., что объясняется снижением приема студентов на бюджетной основе. Такая тенденция сохранится и в ближайшем будущем.

Разработка учебных планов и программ, динамическое программирование

Михалевиц А.П., Михалевиц В.Г.

Белорусский национальный технический университет

При разработке учебных планов и рабочих программ необходимо учитывать связи между дисциплинами плана и темами рабочих программ. Так может оказаться, что дисциплина “Системный анализ и моделирование в компьютерных сетях” изучается на пятом курсе, а дисциплина “Методы и алгоритмы принятия решений”- на третьем, в то время как содержание этих дисциплин требует обратной последовательности их изучения. Подобную картину можно наблюдать и при изучении отдельных дисциплин. Пусть задана матрица смежности тем изучаемой дисциплины.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1			1	1					
K2						1			
K3						1			
K4					1				
K5							1		1
K6									1
K7								1	
K8									
K9									

Элемент матрицы, равный единице, определяет наличие связи между соответствующими темами. В каждый момент времени может быть изучена лишь одна тема. Из матрицы смежности видно, что материал первой лекции может понадобиться при изучении 4 темы, то есть разрыв между темами равен 2 темам, а между второй и шестой темами разрыв равен уже 3 единицам.

Задачу минимизации суммарного количества разрывов между темами можно решить, используя аппарат динамического программирования.

Использование комплекса CoDeSys в системах управления

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Отсутствие спроса промышленности на средства автоматизации производства привело к распаду большинства коллективов, занятых применением программируемых логических контроллеров (ПЛК), что, естественно, отразилось и на уровне подготовки специалистов. В настоящее же время наблюдается существенный рост потребности в современных инструментах производства и автоматики. Широкое распространение и доступность персональных компьютеров привели к появлению большого числа специалистов, профессионально владеющих компьютерными технологиями. Поэтому не удивительно, что сегодня персональные компьютеры (ПК) массово применяют на всех уровнях промышленной автоматизации, включая классические контроллерные задачи. Даже там, где задача на ПЛК решается «в одно действие» и на два порядка дешевле, нередко применяют дорогостоящие промышленные ПК, операционные системы реального времени и заказное программное обеспечение. Единственной причиной такого подхода является наличие подготовленных специалистов.

Любая машина, способная автоматически выполнять некоторые операции, имеет в своем составе *управляющий контроллер* — модуль, обеспечивающий логику работы устройства. Контроллер — это мозг машины. Естественно, чем сложнее логика работы машины, тем «умнее» должен быть контроллер. Технически контроллеры реализуются по-разному. Это может быть механическое устройство, пневматический или гидравлический автомат, релейная или электронная схема или даже компьютерная программа. Благодаря стандартизации языков программирования прикладная программа оказывается *переносимой*. Это означает, что ее можно использовать в любом ПЛК, поддерживающем стандарт МЭК 61131-3, который используется в комплексе CoDeSys.

Применение стандарта МЭК 61131 в учебном процессе

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время основное внимание уделяется технологиям создания программного обеспечения для систем управления промышленной автоматикой, построенных на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) и практическому программированию на языках стандарта МЭК 61131-3. В 1979 году в рамках Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) была создана специальная группа технических экспертов по проблемам ПЛК, включая аппаратные средства, монтаж, тестирование, документацию и связь. В настоящее время стандарт включает следующие части:

- Часть 1. Общая информация.
- Часть 2. Требования к оборудованию и тестам.
- Часть 3. Языки программирования.
- Часть 4. Руководства пользователя.
- Часть 5. Спецификация сообщений.
- Часть 6. Полевые сети.
- Часть 7. Программирование с нечеткой логикой.
- Часть 8. Руководящие принципы применения и реализации языков ПЛК.

Включение в стандарт пяти языков объясняется в первую очередь историческими причинами. Если взять любой контроллер, работающий в современном производстве, то его программу можно перенести в среду МЭК 61131-3 с минимальными затратами.

Инженер, спроектировавший машину, должен иметь возможность самостоятельно написать программу управления. Никто лучше его не знает, как должна работать данная машина.

**Автоматизация управленческой деятельности
подразделения типа кафедры**

Разорёнов Н.А., Разорёнова Т.Р.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня в вопросах организации делопроизводства кафедры существенное влияние оказывают информационные технологии. Применение интерактивных офисных программ, систем управления базами данных, Web-технологий позволяют автоматизировать рабочее место руководителя кафедры, секретарей и преподавателей. Среди задач, решаемых на кафедре, можно выделить следующие: распределение и учет учебной нагрузки, разработка календарных учебно-производственных планов на основе учебных программ читаемых дисциплин, учет научно-исследовательских работ преподавателей и студентов, организация государственных экзаменационных комиссий и т.д. Решение этих задач базируется на применении бумажных документов, которые подготавливаются на компьютере. А вот как подготавливаются – это и решается с помощью автоматизации, внедряемой на кафедре ПОВТ и АС. Разработанные АРМы позволяют:

- вести электронный журнал учета нагрузки преподавателя – «Индивидуальный план», где в соответствии с расписанием занятий формируются отчеты по нагрузке по месяцам и итогами по семестрам и учебному году;

- заполнять карту учебно-производственного плана, указывая в диалоговом окне таблицу с видом нагрузки (лекции, лабораторные или практика) в файле рабочей программы дисциплины и ряд сведений о распределении занятий по часам;

- вести личный учет научных публикаций и регистрировать кафедральный НИР и НИРС для подготовки соответствующих отчетов кафедры в базе данных «Публикации кафедры»;

- организовать процесса дипломного проектирования, работу ГЭКов, учет всех выпускников и их дипломных работ, подготовку различных отчетных документов (приказов, списков, приложений к дипломам, ведомостей и т.д.) в базе данных «ГЭК».

Математическая модель транспортного агрегата

Разорёнов Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Изменение состава транспортного агрегата при существующем в настоящее время методе теоретического исследования неизбежно будет связано с выводом системы дифференциальных уравнений для каждого конкретного состава транспортного агрегата (ТА).

Указанный недостаток устраняется полученной методом декомпозиции универсальной моделью, позволяющей исследовать вопросы динамики ТА с неограниченным количеством прицепов.

Применение уравнений Лагранжа первого или второго рода не позволяет получить для различных расчетных схем ТА простые по структуре системы дифференциальных уравнений. Кроме того, дифференциальные уравнения не могут быть явно приведены к форме Коши ввиду громоздких вычислений. Это в свою очередь, требует решения систем в форме уравнений Лагранжа на каждом ее шаге интегрирования, что снижает точность и увеличивает время расчета.

Уравнения движения, лишенные этих недостатков, составлены с помощью уравнений Аппеля.

В качестве квазискоростей K -ой подрессоренных масс приняты проекции вектора абсолютной скорости центра масс и проекция вектора абсолютной угловой скорости центра масс на соответствующие подвижные оси. Квазискоростями непрессоренных масс приняты первые производные по времени их обобщенных координат.

Система уравнений в окончательном виде представляется в форме Коши, которая дополняется дифференциальными уравнениями, определяющими первые производные по времени обобщенных координат подрессоренных масс через квазискорости, полученными по методике А.И.Лурье.

Обобщенными силами, отнесенными к квазикоординатам, являются главные моменты системы сил относительно связанных с телом осей и проекции на эти оси ее главного вектора, для их вычисления получены выражения.

**Автоматизированный синтез корневых портретов
семейств динамических систем**

Несенчук А.А., Иванцов С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Функционирование реальных систем автоматического управления (САУ) под воздействием различных факторов (внешних возмущений, неточностей изготовления отдельных деталей и др.) всегда предполагает элемент неопределенности. Одним из наиболее распространенных видов неопределенности систем является параметрическая неопределенность.

Динамические процессы в системе описываются дифференциальными уравнениями. Ставится задача выявить конфигурации (типовые) корневого портрета системы [1] при условии вариации всех коэффициентов уравнений в заданных интервалах. В данном случае рассматривается система третьего порядка с изменением параметров в бесконечных пределах. Требуется также организовать синтез корневых портретов желаемой конфигурации для придания определённых (требуемых) свойств динамической системе (по желанию проектировщика).

В результате выполнения работы создан программный продукт, автоматизирующий функции проектировщика САУ, который позволяет выполнять вышеописанные действия. Обладая простым (дружественным) интерфейсом, разработанное приложение (программный продукт) обеспечивает возможность определения типа корневого портрета заданной системы в соответствии с разработанной классификацией портретов, а также расчета параметров системы, гарантирующих получение желаемой конфигурации корневого портрета в условиях существенных параметрических вариаций, что в свою очередь позволяет обеспечить желаемое качество переходного процесса в системе.

В настоящее время рассматриваемое приложение используется в ОИПИ НАН Беларуси.

Литература

1. Несенчук, А. А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

Информационно-аналитическая система оптимального распределения бюджетных средств

Пащенко А.В., Житкевич АП.

Белорусский национальный технический университет

Планирование финансовой деятельности воинских частей производится в соответствии с регламентирующими документами Министерства обороны.

На основании этих документов можно построить математическую модель распределения финансовых средств. Представим ее в виде матрицы $[X(i,j)]$, где строки матрицы соответствуют статьям расходов, а столбцы соответствуют воинским частям. Тогда на пересечении строки i и столбца j этой матрицы будет стоять сумма финансовых средств, выделенных данной воинской части по данной статье расходов.

Если объем выделенных средств по каждой статье расходов для каждой воинской части соответствует утвержденному нормативу, то мы имеем нормативную матрицу расходов $[X_0(i,j)]$. При этом общий объем выделенных из бюджета средств равен K_0 . Если общий объем выделенных из бюджета средств $K < K_0$, то возникает задача такого их распределения, которое нанесло бы минимальный ущерб боеспособности воинских частей. Для этого для каждой воинской части и каждой статьи расходов нужно определить функцию ущерба $F_{ij}(X_0(i,j) - X(i,j))$, аргументом которой является разность между нормативным и фактическим финансированием по каждой статье расходов. Теперь задача оптимального распределения финансовых средств может быть сформулирована как задача математического программирования.

Тип получаемой задачи математического программирования будет зависеть от вида функции потерь. Если выбрать линейную функцию потерь, то мы получим классическую транспортную задачу, для которой разработаны эффективные методы решения.

Для выбора функции потерь может быть использован метод экспертных оценок или же методы принятия решений в условиях неопределенности.

**Об одном алгоритме виртуального проектирования систем
управления производственными процессами
при нечетко заданной исходной информации**

Фурунжиев Р.И., Рожин О.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время является очевидным, что создание любой системы управления производственными процессами предполагает предварительное разработку модели объекта управления. Наиболее конструктивной современной формой моделирования является математическое моделирование. Среди различных типов математических моделей широко распространенным классом являются имитационные модели.

Традиционное имитационное моделирование имеет ряд ограничений и недостатков, которые являются предпосылками к развитию подхода, основанного на одной из составных частей теории нечетких множеств – нечетко-интервальной математике.

В качестве примера рассматривается нечетко-интервальное моделирование линейной производственной системы состоящей из ряда станков и ряда промежуточных складов. В соответствии с общей методикой нечеткой симуляции эффективные производительности полагаются нечеткими интервалами. Детерминированная нечеткая модель рассматриваемой системы представляется в виде набора условных функций, условиями которых являются вероятности события вида «производительность следующего станка меньше производительности предыдущего».

Возможность формального оперирования с нечеткими интервалами на этапе формализации модели как с обычными переменными, позволяет легко строить модели сколь угодно сложной разветвленной структуры.

Результаты нечеткого моделирования можно рассматривать как своего рода гарантированные оценки, поскольку нечеткое моделирование обеспечивает учет всех, в том числе граничных значений исходных четких и нечетких интервалов, описывающих неопределенные параметры модели, что практически невозможно с помощью традиционного подхода на основе метода Монте-Карло.

Учебно-методический комплекс по дисциплине
«Тестирование и отладка ПО»

Попова Ю.Б., Попов Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Основной целью создания информационно-справочной системы является повышение эффективности подготовки специалистов.

К информационно-справочным системам предъявляются следующие требования: структурированность, скорость доступа, разграничение прав доступа, аналитические функции (например, сбор статистики), специальные возможности (например, самонастраиваемость системы в части изменения состава и структуры информации в зависимости от частоты и характера запросов).

Для проведения занятий по дисциплине «Тестирование программного обеспечения» была разработана информационно-справочная система. Предлагаемая система выполнена в виде сайта и предоставляет возможность работы в двух ролях:

1) В роли студента–пользователя системы. Здесь имеется возможность просмотра информации о лекционных и лабораторных занятиях; скачивания различного рода документов; просмотра и резервирования темы зачетной работы; просмотра новостной информации; просмотра статистики; написания сообщения преподавателю.

2) В роли преподавателя–администратора в системе. Здесь имеется возможность редактирования информации о студентах, о лекционных и лабораторных занятиях, размещение различного рода документов; редактирование, подтверждение и назначение тем зачетных работ; размещение и редактирование новостной информации; написания сообщений для студентов.

Данная информационно-справочная система внедрена в учебный процесс в 2008 году и успешно используется для проведения занятий по дисциплине «Тестирование программного обеспечения». Система показала свою надежность и возможность применения для проведения занятий по другим дисциплинам.

**Демонстрационное приложение для обучения методам
узкополосной модуляции по дисциплине
«Теория передачи сигналов»**

Романов А.В.

Белорусский национальный технический университет

На этапе форматирования в системах цифровой связи информация, поступающая от источника, преобразуется в последовательность двоичных цифр. Эти цифры представляют собой абстрактную форму описания информации, они не являются физической субстанцией. Для передачи потока битов по физическому каналу необходимо преобразовать этот поток в физический «носитель», наилучшим образом соответствующий среде передачи. Такой физический носитель, используемый при передаче по узкополосному каналу, является электрическим импульсным сигналом или сигналом в кодировке РСМ.

Существует несколько типов двоичных РСМ-сигналов, которые делятся на три группы: без возврата к нулю (NonReturn to Zero – NRZ), с возвратом к нулю (Return to Zero – RZ), фазовое кодирование. Изучение различных способов кодирования РСМ является целью выполнения одной из лабораторных работ по дисциплине «Теория передачи и обработки сигналов».

Двоичные цифры, предназначенные для узкополосной передачи, принято представлять в виде электрических импульсов, имеющих идеальную прямоугольную форму. Это послужило основой для создания Windows-приложения, которое обеспечивает пользователя возможностью получать случайные двоичные последовательности и отображать импульсные сигналы, соответствующие битам сообщения. При этом пользователь имеет возможность изменять текущий метод кодирования (NRZ, RZ или фазовое кодирование), а также схему текущую схему, из следующих схем: L (level), M (mark), S (space), AMI (alternate mark inversion) или DM (delay modulation).

Соответствие потока битов сообщения и импульсной последовательности можно «прокручивать» в обоих направлениях (от начала к концу и наоборот).

О подготовке информационного обеспечения для базы данных учебных программ

Бухвалова И. А.

Белорусский национальный технический университет

Для формирования информационного обеспечения базы данных учебных дисциплин первым важным шагом является определение документов, которые позволяют определить основные требования к данным. Входными документами являются рабочий учебный план и рабочие учебные программы дисциплин. На основании анализа этих входных документов должны составляться такие выходные документы как:

- календарный учебно-производственный план;
- отчет по предметам и видам занятий в семестрах.

Каждая дисциплина на кафедре закрепляется за одним, либо несколькими преподавателями. Поэтому необходимо иметь сведения о закреплении дисциплин за преподавателями. Каждый преподаватель – разработчик программы – имеет право корректировать программу. Поэтому необходимо предусмотреть различные права для различных групп пользователей. На основании этих данных формируются справочники, информация из которых и заданные шаблоны документов позволяют формировать новые учебные программы, корректировать имеющиеся.

Преимущества информационной системы, основанной на базе данных, по сравнению с традиционным «бумажным» методом ведения учета учебных программ дисциплин вполне очевидны. Вот некоторые из них:

- **Компактность.** Нет необходимости в хранении всех бумажных документов, содержащих учебные программы.
- **Скорость.** Компьютер может выбирать и обновлять данные гораздо быстрее человека. Можно быстро анализировать информацию, представленную в базе данных.
- **Низкие трудозатраты.** Нет необходимости в утомительной рутинной работе над картотекой вручную.
- **Актуальность.** В случае необходимости под рукой в любой момент имеется точная свежая информация.

Двухфазный повышающий преобразователь

Миронович А. В., Примшиц П. П.

Белорусский национальный технический университет

Повышающие преобразователи постоянного напряжения применяются во многих электротехнических устройствах для получения повышенного по сравнению с выходом источника питания напряжения. Как показывают исследования, наилучшая динамика таких преобразователей получается при поддержании в них режима так называемого граничного тока. В этом случае поддерживается треугольная форма тока дросселя (рис. 1).

Существенным недостатком такого алгоритма работы является наличие существенных пульсаций тока, передаваемого в нагрузку. Самым явным вариантом устранения этого недостатка является применение многофазной схемы, когда ток передается в нагрузку по нескольким параллельным каналам.

Схема двухфазного преобразователя представлена на рис. 2

Здесь ток в нагрузку $C - R_n$ от источника E_n передается по каналам накачки энергии $L_1 - VT_1 - VD_1$ и $L_2 - VT_2 - VD_2$ - VD_2 .

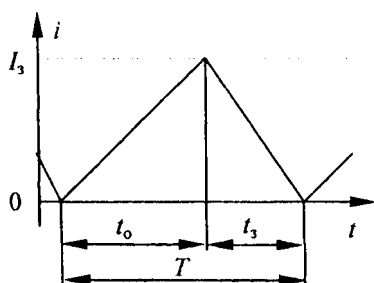


Рис. 1

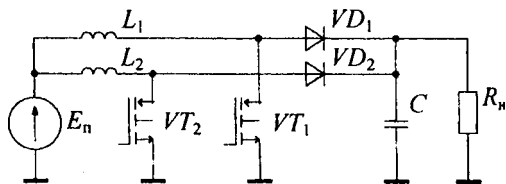


Рис. 2

Наименьшие пульсации будут в том случае, если фазовый сдвиг составит $T/2$ с, а период не является величиной постоянной, так как время закрытого состояния ключа t_3 определяется величиной напряжения в нагрузке. Следовательно, для данной системы необходимо синтезировать дискретное управляющее устройство, постоянно вычисляющее величину фазового сдвига.

**Исследование мягкого пуска и торможения
асинхронных электродвигателей при импульсном
регулировании напряжения**

Васильев Д.С., Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет

Для улучшения пусковых характеристик асинхронных электродвигателей (АД) с короткозамкнутым ротором в настоящее время широко используются тиристорные устройства плавного пуска (УПП) или софтстартеры. Однако наряду с ограничением величин пусковых токов и ударных моментов имеет место искажение синусоидальной формы кривой напряжения, питающего статор АД, и увеличение угла сдвига первой гармоники тока. В результате на выходе тиристорного УПП кроме первой присутствуют и высшие гармоники напряжения и тока, что приводит к уменьшению коэффициента мощности и создает дополнительные потери энергии и помехи в системе управления и регулирования.

Использование импульсного регулятора напряжения (ИРН) на основе полностью управляемых полупроводниковых элементов, например IGBT-транзисторов, позволяет улучшить гармонический состав кривой выходного напряжения софтстартера и устранить угол сдвига первой гармоники тока. В ИРН регулирование первой гармоники напряжения АД по определенному закону происходит за счет изменения ширины и числа симметричных импульсов, в результате чего на выходе импульсного софтстартера формируется близкая к синусоидальной форме кривая напряжения. Исследования также показали, что вследствие лучшего гармонического состава выходного напряжения и тока ИРН потери энергии в переходных процессах АД при импульсном регулировании несколько меньше, чем при фазовом (тиристорные УПП).

Гармонический анализ и исследование потерь энергии в системе «ИРН-АД» проводилось как аналитически, так и на основе имитационной модели в Matlab для кранового АД типа 4МТКФ160LB8 (11кВт, 380/220В, ПВ=40%) при экспоненциальном и линейном законе изменения величины первой гармоники напряжения.

Снижение динамических нагрузок в трансмиссиях троллейбусов за счет режимов работы тягового электропривода

Галямов П. М.* , Сидоров В. Г.

Белорусский национальный технический университет
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси*

Постановка задачи. Тяговый электропривод троллейбусов, эксплуатируемых в городах, преимущественно работает в переходных режимах при практическом отсутствии установившегося движения. На характере переходного процесса (ПП) трогания, определяющем комфортабельность и динамическую нагруженность трансмиссии (НТ) троллейбуса, существенно сказывается наличие окружных люфтов (ОЛ) в механических передачах, допускаемых до 50° действующими Правилами технического обслуживания и текущего ремонта троллейбусов. Так как ОЛ трансмиссии троллейбуса выбирается в начальный период трогания под действием крутящего момента тягового электродвигателя (ТЭД), нарастающего по закону, определяемому работой ТЭД и системы управления (СУ) им, возможно снизить НТ троллейбусов при трогании совершенствованием СУ ТЭД.

Основная часть. Для решения этой задачи были разработаны и запатентованы усовершенствованные электрические схемы реостатной (пат. а 10061 ВУ) и тиристорной (пат. и 4071 ВУ) СУ для троллейбусов ЗИУ-682В и МАЗ 103Т. Первая схема отличается от серийной наличием одного диода в цепях управления и обеспечивает выбор люфта на ослабленном поле ТЭД, а вторая – наличием задатчика интенсивности (ЗИ) с нелинейной переходной характеристикой, содержащей начальный участок, обеспечивающий выборку окружного люфта трансмиссии при пониженном (18% от максимального) токе якоря ТЭД независимо от темпа и степени нажатия водителем на ходовую педаль.

Практические результаты и перспективы. Испытания предлагаемой СУ на троллейбусе МАЗ 103Т с окружным люфтом трансмиссии 45° показали снижение максимального динамического момента на полуоси в ПП, инициированном выборкой ОЛ при трогании с 1380 до 330 Н·м. Разработанный ЗИ также может быть использован в составе других электроприводов, для которых желателен щадящий выбор ОЛ в трансмиссии при пуске.

**Методы искусственного интеллекта
в автоматизированном электроприводе**

Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

Усложнение задач управления автоматизированным электроприводом (АЭП), особенности объекта управления с одной стороны стимулируют, и расширяющиеся возможности микропроцессорной техники [1], точек новых методов управления. Наряду с традиционными структурами подчиненного регулирования получают развитие методы искусственного интеллекта (ИИ), к которым относятся экспертные системы, нечеткая логика и нейронные сети (НС). Имеются также примеры использования сочетания названных методов. [2] Основным элементом экспертной системы является база знаний, которая формируется экспертами. База знаний экспертной системы обычно имеет древовидную структуру, которая имеет основную и вспомогательные ветви.

АЭП с асинхронным двигателем является объектом для применения системы ИИ, благодаря следующим основным причинам: 1) система АЭП существенно нелинейна; 2) две ключевых переменных состояния (поток и ток ротора) обычно не поддаются измерению; 3) некоторые параметры двигателя изменяются в процессе эксплуатации.

Системы прямого управления АЭП-АД обычно используют микропроцессоры класса DSP [1], возможности которых ограничивают частоту модуляции и, следовательно, точность управления. НС позволяют уменьшить время вычисления до 3 мкс на каждом уровне, на основе электрически программируемого чипа Intel 80170NX [3].

1. Опейко О.Ф., Петренко Ю.Н. Микропроцессорные средства в автоматизированном электроприводе: учеб. пособие. – Минск; Амалфея. 2008. – 340 с.
2. Bimal Bose. Power Electronics and Variable Frequency Drives. – N.Y.: IEEE, 1996 – 640 p.
3. Shi K.L., Chan T.F., Wong Y.K. Direct Self Control of Induction Motor Based on Neural Network, IEEE Trans. Ind. Appl. cat., vol. 37 № 5, pp. 1290-1298, Sept./Oct. 2001.

Проектирование логического диспетчера для управления электроприводом

Алави Сайед Энаятоллах, Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

Среди систем искусственного интеллекта применительно к электроприводу наиболее активно развиваются нечеткие множества. Главным свойством нечеткой логики (НЛ) является использование лингвистических переменных в отличие от дискретных (булевых). Обобщенная структура контроллера НЛ содержит четыре принципиальных составляющих: 1) блок фазификации, задачей которого является преобразование входных величин в соответствующие входные лингвистические переменные; 2) блок базы знаний, состоящий из базы данных, необходимых лингвистических определений и набора правил управления; 3) блок логики принятия решений, делающий заключение о нечетком управлении на основе базы знаний правил управления и определений лингвистических переменных; 4) блок дефазификации, который преобразует лингвистические переменные в сигналы управления объектом.

В качестве объекта управления принята тележка подъемного крана с электроприводом, осуществляющая перемещение груза в заданную позицию. Задачей является минимизация колебаний груза вблизи точки позиционирования.

Процедура проектирования контроллера управления движением на основе НЛ выглядит следующим образом. В первую очередь определяются входные лингвистические переменные, в качестве которых приняты положение тележки и угол наклона каната (груза). Переменные представлены нечеткими логическими категориями (термами). Сформулированы две базы нечетких правил: для управления положением и для управления углом отклонения каната. Обе базы правил содержат по 25 правила, таких как “отклонение большое”, “маленькое”, и т.д.

Динамические свойства системы исследованы на математической модели с использованием пакета Matlab-Simulink. Результаты моделирования показывают, что перемещаемый груз не имеет колебаний вблизи точки позиционирования.

Симонович А.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в сфере общественного транспорта все большее внимание уделяется комфортабельности и безопасности транспорта, снижению количества отказов транспортных единиц и уменьшению времени простоев, снижению времени на техническое обслуживание и, соответственно, снижению материальных затрат на обслуживание. Для выполнения этих задач необходимо не только управлять всеми элементами системы, но и знать точное состояние каждого из них. Так, например, в троллейбусе помимо контроля основного оборудования, вводится контроль всех предохранителей, всех лампочек и светодиодов, контроль состояния дверей, угла поворота колес, вплоть до контроля наличия молотков для аварийного выхода. Количество объектов контроля и управления превышает несколько сотен.

Обычная централизованная система управления не в состоянии обеспечить указанные требования. В таких условиях необходимо использование распределенной параллельной системы, работающей в реальном времени. Распределенная система – это система, состоящая из нескольких географически разнесенных узлов, работающих параллельно. Каждый узел представляет собой отдельную вычислительную систему. Все узлы связаны локальной (или глобальной) сетью. Наиболее мощным и высокоэффективным решением организации сети является интерфейс CAN (Controller Area Network). Сегодня CAN-интерфейс можно считать стандартным последовательным интерфейсом, используемым на транспорте. Основные достоинства сети на базе CAN-интерфейса: высокая скорость передачи данных, наличие механизма обнаружения и ограничения ошибок, возможность одновременной передачи сообщений, приоритетность передачи сообщений, сетевая гибкость и легкость расширения, простота в монтаже и наладке (3-проводная шина), высокая надежность и простота в обслуживании.

**Особенности формирования раздела обучающего комплекса
УМИК по конечно-элементному моделированию с учетом
возможностей суперкомпьютера СКИФ**

Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

УМИК – программный комплекс, предназначенный для хранения, обработки информации в любой предметной области, служит интеллектуальным посредником между студентом, преподавателем и средой обучения.

УМИК разработан специально для удобного представления методических материалов по использованию суперкомпьютера СКИФ в режиме удаленного доступа в рамках подготовки высококвалифицированных специалистов в области систем автоматизированного проектирования.

Отличительные особенности УМИК:

- предоставление учебных материалов студенту в виде методического пособия;
- возможность вывода этих материалов на сайт через языки текстовой разметки;
- возможность самоконтроля и контроля усвоения учебного материала.

Одним из разделов УМИК является использование конечно-элементного моделирования при проектировании сложных систем. При формировании этого раздела были использованы различные виды представления текстовой и графической информации на основе встроенных информационно - логических таблиц. Такое представление имеет следующие преимущества:

- простота вычленения основной идеи;
- наглядность относительной важности каждой идеи;
- распознаваемость связей между используемыми понятиями;
- повышенная скорость воспроизведения и усвоения информации студентом;
- защищенность информации от несанкционированного изменения.

Разработка экспертной системы с удаленным доступом

Кадач Т.В., Зиновьева Ю.В., Василевский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Экспертная система (ЭС) обычно состоит из решателя (интерпретатора), рабочей памяти (базы данных), базы знаний, компонентов приобретения знаний, объяснительного и диалогового компонентов.

В настоящее время возрос интерес к ЭС как к средству представления и обмена знаниями в Интернете. Разработан прототип ЭС с удаленным доступом (например, посредством сети Интернет) для планирования проведения досуга в городе Минске в виде сайта под названием «Городской эксперт». Система задает ряд вопросов, а затем выдает рекомендацию, при этом пользователь может проследить с помощью модуля «Путь поиска решения» соображения, исходя из которых была выдана данная рекомендация.

ЭС разработана с применением продукционной модели знаний. При разработке использовались следующие методы и инструменты:

- Принципы проектирования ЭС;
- Принципы проектирования веб-приложений;
- Принципы юзабилити;
- язык серверных расширений PHP;
- язык гипертекстовой разметки HTML;
- каскадные таблицы стилей.

Применения данной ЭС – проведение удаленных консультаций по сети Интернет как на коммерческой основе, так и рекламного характера. Использование удаленной консультации имеет ряд преимуществ как для пользователя, так и для разработчика:

- Пользователю не надо устанавливать ПО;
- Стоимость удаленной консультации ниже;
- Пользователю не надо платить за получение избыточной информации.

Разработчик может изменять-наполнять БЗ на сервере без переустановки на компьютере пользователя.

Структурный синтез систем сбора и обработки информации

Придухо В.Т., Пацей Н.Е., Вигутов С.В.

Белорусский национальный технический университет

Системы сбора данных являются важной составляющей системы автоматизации любого объекта. Выбор структуры сети определяет ее экономические, технические и эксплуатационные характеристики.

Ставится задача поиска оптимальной структуры системы сбора данных с иерархической архитектурой, в которой возможна передача сигналов трех подсистем: сигнализации, измерения и управления. Первый уровень представлен совокупностью датчиков, второй – устройствами сбора первичных данных, третий – сервером автоматизированной системы. Определение структуры заключается в определении числа устройств сбора первичных данных и их связей с элементами подсистем сигнализации, управления и измерения.

Задача решается с использованием генетического алгоритма. Решение представляется в виде вектора, каждый элемент которого указывает на наличие или отсутствие связи между определенными узлами сети. Функция приспособленности представлена как аддитивный критерий на основе математического описания критериев отказоустойчивости, экономичности и протяженности кабельных линий проектируемой сети. Оператор скрещивания реализован по границам подсистем измерения, управления и сигнализации. Такая реализация оператора скрещивания позволяет избежать разрушения хромосома выражаемого как наличие связей между одним датчиком и множеством устройств сбора первичных данных или отсутствие связи между датчиком и каким-либо устройством сбора первичных данных.

В результате для заданного количества элементов подсистем измерения, управления и сигнализации и интенсивности информационного обмена каждого элемента первого уровня удалось определить структуру системы сбора данных с более равномерным законом распределения суммарного количества информации между устройствами сбора первичных данных, т.е. более нечувствительную к отказу отдельного элемента.

Использование метода анализа иерархий для выбора средств автоматизированного проектирования

Пекарчик С.Е., Урбанайт В.В.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается применение метода анализа иерархий, широко используемого в системах поддержки принятия решений в различных областях знаний, для поиска оптимальных вариантов конфигураций программных средств технической подготовки производства.

Метод подразумевает выбор средств конструкторско-технологической подготовки производства из уже имеющихся программных продуктов, т.е. позволяет принять наиболее оптимальное решение из уже имеющихся альтернатив.

Метод позволяет гибко варьировать количеством и составом альтернативных вариантов и факторов. Окончательное решение принимается в зависимости от значения суммарного критерия альтернативы, вычисляемого на основе весовых коэффициентов факторов, определяющих превосходство альтернатив между собой.

Областью решений, необходимых для автоматизации технической подготовки производства, является совокупность программных средств, предназначенных для решений задач конструирования изделий (CAD), технологической подготовки производства, известные как CAPP (Computer-Aided Production Process) и систем электронного документооборота (PDM), являющихся, по сути, объединяющим звеном не только на этапе подготовки производства, но и на протяжении всего жизненного цикла изделия, а также имеющегося на предприятии прикладного программного обеспечения.

Метод анализа иерархий легко программируется, а также позволяет учитывать временной фактор. В последнем случае пересчет модели не составляет труда, поскольку основной математический аппарат не изменяется, а все изменения касаются отношений альтернатив и факторов, т.е. иерархии.

**Построение модели рамы полуприцепа на основе
оболочечных элементов для расчета
на суперкомпьютере СКИФ**

Шестак Д.М.

Белорусский национальный технический университет

Когда конструкция рамы полуприцепа проработана в эскизах, определены размеры рабочих элементов, рассчитаны нагрузки, то можно переходить к построению геометрии отдельных деталей и сборок. Наиболее удобной системой для построения геометрии является SolidWorks. Процесс проектирования конструкции сводится к созданию трехмерных моделей деталей, а затем сборок. Т.е. в системе создается базовая деталь, а затем в режиме сборки к ней добавляются новые.

В реальных условиях при поставленной задаче часто возникают случаи, когда необходимо рассчитать не всю конструкцию целиком, а только отдельную ее часть.

Для разрешения такой ситуации можно рассчитать отдельную часть конструкции, но это является очень трудоемким процессом, требующим высокой производительности ПК ввиду расчета большого количества деталей сборки, а также огромных подсчетов воздействий и напряжений на ту или иную деталь. Поэтому, чтобы не выполнять излишний и трудоемкий расчет контактов, исключаются мелкие детали конструкции, некоторые объемы заменяются другими, более простыми по геометрии, или объединяются в один общий, а влияние, действующее на тела конструкции, преобразовывается в приближенные эквивалентные силы. Это существенно снижает затраты, которые требуются для исследования конструкции.

Даже при таком упрощенном подходе количество степеней свободы велико и, как следствие, неразрешимо на персональном компьютере в домашних условиях. Поэтому, подготовив согласно синтаксису встроенного языка APDL командный файл всей конструкции с нагрузками и действующими силами, модель передается для расчета на суперкомпьютер СКИФ.

Принципы и механизмы учебно-методического сайта на COM+ и XML технологии

Галко А.В., Дейнека Р.В., Кочуров В.А.

Белорусский национальный технический университет

Интернет почти заменил собой традиционные библиотеки и активно используется в дистанционном образовании. Но для создания учебно-методического сайта преподаватель должен обладать знаниями в области информационных технологий, или прибегнуть к помощи соответствующих специалистов – это является сдерживающим фактором развития дистанционного образования в Интернете.

В основе сайта лежит сервер информационно-логических таблиц (СИЛТ), в нем хранится учебный материал, преподаватель может легко добавлять и редактировать его. Любой преподаватель, умеющий работать на ПК, справится с этой работой без посторонней помощи. СИЛТ хранит учебные материалы и предоставляет доступ к ним по технологии COM+, через вызов функций сервера можно получить данные в виде XML или HTML. Но COM+ – это внутренний интерфейс взаимодействия программ между собой, а для взаимодействия с пользователем через браузер нужно что-то другое. Связующим звеном между пользователем и сервером является web-приложение написанное на ASP, которое взаимодействует с пользователем, предоставляя ему удобный интерфейс для доступа к учебным и методическим материалам, которые находятся на сервере. При обращении пользователя к Web серверу с помощью браузера запускается ASP-скрипт, который создает экземпляр СИЛТ и запрашивает у него материалы, после чего преобразует к нужному виду их и возвращает в браузер. Такой механизм позволяет отображать изменения, сразу после внесения их преподавателем в программе и не требует от него специальных действий. Для обеспечения безопасности сайт запрашивает у пользователя имя и пароль доступа и отслеживает их на протяжении всей работы, защищая от подмены. После авторизации сайт может предоставить различные интерфейсы пользователей, для преподавателей и студентов и позволяет контролировать их работу.

**Управление исполнением командных файлов
на суперкомпьютере СКИФ посредством интернет-сайта**

Бородуля А.В., Галко А.В, Дейнека Р.В., Кочуров В.А.
Белорусский национальный технический университет

Все современные суперкомпьютеры похожи по своей конструкции, чаще всего они имеют кластерную архитектуру (сеть вычислительных узлов) под управлением операционной системы на основе UNIX. Программы, используемые на суперкомпьютерах, чаще всего специально адаптированы для работы без графического интерфейса. На суперкомпьютере «СКИФ» установлен пакет моделирования LS-Dyna, который взаимодействует с пользователем с помощью файлов.

При выполнении лабораторных работ на суперкомпьютере «СКИФ» студентами кафедры САПР возникает проблема создания защищенного соединения с суперкомпьютером, отправкой файла с заданием и получением результатов.

Для решения этой проблемы было создано Web-приложение, оно управляет командными файлами, реализующими необходимые функции работы с суперкомпьютером, позволяя запустить расчет задачи, проверить состояние задания, получить результат расчетов. С помощью Web-интерфейса пользователь выбирает файл задания на своем локальном компьютере и отправляет на сервер. Web-приложение поучает файл, и передает его в соответствующий командный файл, который устанавливает канал связи с суперкомпьютером, пересылает ему задание и ставит в очередь на расчет, в браузере выводится информация об успешном выполнении команды. Проверка стояния расчета и получение результатов расчета происходит аналогично, только используются другие командные файлы.

Таким образом, с помощью этого Web-сайта можно выполнять расчеты на суперкомпьютере посредством Интернет, тем самым появляется возможность выполнения лабораторных работ в удалённом режиме. Такой режим работы особенно актуален в случае применения дорогостоящих лицензионных пакетов.

Получение реалистичного изображения трехмерных объектов методом трассировки лучей с последующей фильтрацией изображения

Сиденко Л.А., Шахова И.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в графических пакетах активно применяется метод локального освещения сцены, когда для каждого расположенного на ней объекта рассчитывается свет от всех точечных и направленных источников света, а также фоновое освещение от удаленных источников. При этом учитываются такие оптические свойства материалов объектов, как рассеяние и отражение падающего света. Преимущества этого метода в том, что обработка изображения требует мало процессорного времени и при отсутствии зеркальных и прозрачных тел он позволяет добиться высокой реалистичности изображения. Когда же дело касается зеркального отражения, прозрачности либо преломления света, этот алгоритм просто бесполезен.

На сегодняшний день, существует алгоритм, решающий эти проблемы простым и красивым математическим методом. Речь идет о методе трассировки лучей.

Основные задачи метода – удалить невидимые объекты или их части, найти области тени и рассчитать цвет в каждой точке экрана с учетом текстур, освещения и взаимодействия объектов. Но алгоритм не учитывает то, что изображение на дисплее компьютера разбито на пиксели, а текстуры, накладываемые на объекты сцены – на текстели. В результате либо области текстур исчезают, а изображение некорректно формируется из отдельных взятых удаленных друг от друга точек, либо текстели растягиваются на дисплее, образуя резкие ступени при переходе между соседними текстелями.

Фильтрация текстур позволяет убрать ступенчатость изображения при увеличении, улучшить четкость рисунка, сохранить особенности рисунка при многократном приближении и удалении, избавиться от скачков изображения при движении.

Особенности подготовки параметрической 3D модели горной выработки для суперкомпьютера СКИФ

Напрасникова Ю.В., Доманов Е.В., Сороколетов А.А.
Белорусский национальный технический университет

Рассматривается 3D модель горной выработки в слоистой структуре, соответствующей Старобинскому месторождению калийных солей, представленной на рисунке 1.

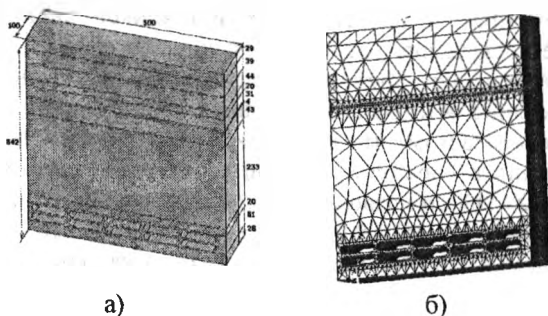


Рисунок 1. Слоистая структура с выработкой (а) и ее конечноэлементное представление (б). Размеры в метрах.

Описывается последовательность шагов по созданию конечноэлементной модели такой структуры с учетом особенностей слоев. Представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния структуры. Перечислены этапы подготовки параметрической модели в виде командного файла на языке APDL, который создает нужное количество слоев выработок, пригодного для моделирования в пакетном режиме в среде ANSYS на суперкомпьютере СКИФ.

Описана оптимизационная оболочка, позволяющая на основе генетического алгоритма или метода Монте-Карло выбрать наилучший вариант расположения выработок по критериям наибольшего объема выбранных солей и минимизации высоты зоны трещиноватости над выработками с целью обеспечения безопасности проведения горных работ.

Представлены результаты тестирования.

**Построение спектра конечно-элементных моделей
с целью выбора рациональных параметров
машиностроительных конструкций**

Напрасников В.В., Шах Шуджа Шафи, Чжан Юнь,
Атари Сина Джабарзаде

Белорусский национальный технический университет

Представлены конечно-элементные модели для вариантных расчетов следующих систем:

- основания двигателя,
- поворотного механизма промышленного робота,
- торсионной тяги.

При этом для конструкции поворотного механизма робота установлено, что деформации корпуса находятся в допустимых пределах; наиболее опасным местом является область сопряжения корпуса с цилиндрами; в основной части корпуса условие прочности для принятого материала выполняется; в области сопряжения корпуса с цилиндрами требуется усиление или изменение конструкции.

Для конструкции основания двигателя получена амплитудно-частотная характеристика в заданном диапазоне рабочих частот; подготовлен командный файл, пригодный для работы в пакетном режиме; выполнены вариантные расчеты с использованием разработанной программы. Подготовлена оптимизационная оболочка на основе метода Монте - Карло. С ее помощью выбран наилучший из сгенерированных вариантов по критерию снижения резонансной амплитуды перемещений при варьировании следующих параметров конструкции: толщина стенки стержня, коэффициент жесткости пружины первого подрессоривающего устройства, коэффициент жесткости пружины второго подрессоривающего устройства.

Для конструкции торсионной тяги разработано программное обеспечение для связывания комплекса конечноэлементного моделирования с внешней оптимизационной программой; выполнены оптимизационные расчеты; разработана методика построения оптимизационных моделей рассмотренного класса на основе конечноэлементных расчетных схем с использованием внешних процедур оптимизации.

Оптимизационная модель клеммы ОП-105 пружинной прутковой для крепления рельсов

Напрасникова Ю.В., Данченко Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Представлен командный файл параметрической модели в среде ANSYS и программа поиска наилучшего решения на основе метода Монте-Карло. Приводятся результаты оптимизации.

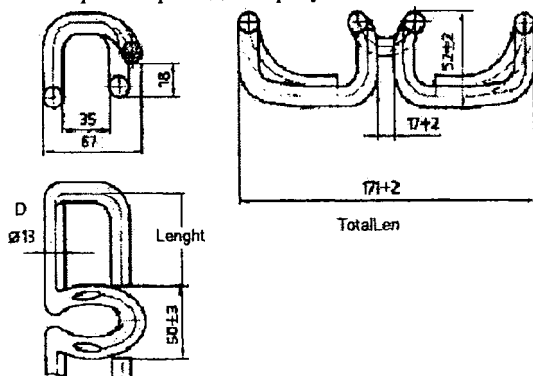


Рис. 1 Схема пружины.

Материал – сталь, модуль упругости 210 Е9 Па, коэффициент Пуассона 0,29.

Критерий оптимальности – объем клеммы (минимизируем).

Параметрические ограничения:

1. Общая длина клеммы:

$$TotalLen_{min} \leq TotalLen \leq TotalLen_{max}$$

2. Диаметр прутка клеммы:

$$D_{min} \leq D \leq D_{max}$$

3. Длина нижних опор клеммы:

$$Length_{min} \leq Length \leq Length_{max}$$

Функциональные ограничения – максимальные перемещение в точке под нагрузкой ограничено сверху и максимальные напряжение в материале клеммы не выше допустимого.

Варьируемые параметры: общая длина; диаметр клеммы; длина нижней опоры.

К клемме приложена сила равная $P = 10000$ Н.

**Информационные
технологии
и управление**

**Анализ гибкого штамповочного производства
на основе сетей Петри**

Лукиянец С.В., Ревотюк М.П., Орда П.А.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Для повышения эффективности дискретного многономенклатурного производства необходимо учитывать ряд параметров: объем производства, размеры партий, длительность операций, загрузку оборудования. Установить их влияние на результаты производства можно с помощью проведения предварительного имитационного моделирования. Сети Петри позволяют выявить и устранить конфликтные ситуации, предусмотреть синхронизацию работы оборудования, получить наглядную и удобную для анализа алгоритмическую структуру. Однако их использование ограничено построением моделей с небольшим числом состояний, что целесообразно на предварительном этапе моделирования при учете взаимосвязи ключевых элементов системы. Дальнейший анализ возможен с привлечением специализированных компьютерных средств имитационного моделирования.

На основе этого подхода выполнен анализ производства штамповки деталей из штучных заготовок и полосы. В соответствии с технологическим процессом, заданным набором оборудования разработан алгоритм его взаимодействия, и построена сеть Петри. При ее анализе использованы программы HPSim и StpnPlay. Первая позволила осуществить пошаговое моделирование, вторая – построить графики состояния позиций в течение всего моделируемого промежутка времени.

Компьютерные расчеты выполнены с помощью языка GPSS-World. Даны рекомендации по применению конкретных конфигураций гибких участков.

Литература

1. Лукиянец, С. В. Моделирование гибких производственных систем и роботизированных комплексов: монография / С. В. Лукиянец, А. П. Пашкевич. – Мн., 2005.
2. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. / Дж. Питерсон – М., 1984.

Оценка точности идентификации кинематических параметров плоского антропоморфного манипулятора

Пашкевич А.П., Климчик А. С.
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

Управление современными промышленными роботами осуществляется без обратной связи по положению исполнительного органа, поэтому точность позиционирования зависит от соответствия математической модели реальной. Плоский антропоморфный манипулятор описывается системой уравнений вида:

$$x = \sum_{i=1}^n (l_i^0 + \Delta l_i) \cos\left(\sum_{j=1}^i q_j^0 + \sum_{j=1}^i \Delta q_j\right),$$

$$y = \sum_{i=1}^n (l_i^0 + \Delta l_i) \sin\left(\sum_{j=1}^i q_j^0 + \sum_{j=1}^i \Delta q_j\right),$$

где n – количество звеньев l_i^0 – номинальные длины; Δl_i – отклонения длин; q_j^0 – углы поворота; Δq_j^0 – смещения нуля.

Оптимальный план должен удовлетворять условиям:

$$\sum_{i=1}^m c_{ji} = 0; \quad \sum_{i=1}^m s_{ji} = 0; \quad \sum_{i=1}^m c_{pi} = 0; \quad \sum_{i=1}^m s_{pi} = 0,$$

где $c_{pi} = \cos\left(\sum_{k=1}^i q_{ki} - \sum_{h=1}^r q_{hi}\right)$, $s_{pi} = \sin\left(\sum_{k=1}^i q_{ki} - \sum_{h=1}^r q_{hi}\right)$.

Тогда точность идентификации определяться как

$$H(q_i) = \frac{\sigma}{\sqrt{m} \cdot l_i}; \quad H(l_i) = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}; \quad i = \overline{1, n},$$

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что точность идентификации кинематических параметров манипулятора зависит от точности измерительного инструмента и от количества точек эксперимента. Так для достижения точности идентификации длины звеньев 0,01 мм при точности измерительного механизма $\sigma = 0,1$ мм необходимо провести 100 экспериментов. Точность идентификации угловых величин так же обратно зависит от линейного параметра звена.

**Микропроцессорная система автоматического
включения резерва**

Марков А.В., Ковель А.Н.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Микропроцессорная система автоматического включения резерва (АВР) предназначена для выполнения функций автоматического ввода резервного питания по факту исчезновения напряжения основного источника питания или изменения его параметров, выходящих за рамки заданных (снижение одного из трех фазных напряжений, пропадание напряжения или изменение установленной очередности фаз).

Микропроцессорная система АВР может применяться для питания потребителей первой категории, перерыв в электроснабжении которых возможен только на время переключения АВР, например, в цепях электроснабжения банков, больницы, холодильного оборудования, инкубаторов, тепличного хозяйства, цехов с непрерывным производством.

Система АВР предназначена для обслуживания пяти исполнительных аппаратов и обеспечивает автоматическое включение резервного питания в соответствии с заданным алгоритмом. Кроме того, реализованы установки времени срабатывания АВР при исчезновении и восстановлении основного питания; контроль положения «замкнуто», «разомкнуто» или «взведено» исполнительных аппаратов; ручное управление исполнительными аппаратами; взаимные блокировки включения исполнительных аппаратов (как в автоматическом, так и в ручном режимах) для включения их в соответствии с установленным алгоритмом; противопожарное отключение (аварийное) всех вводных аппаратов; сигнализация о наличии напряжения на вводах и положениях (включено/выключено) автоматических выключателей, аварийных ситуациях, отсутствия напряжения на вводах, включая генератор. Все переключения автоматически архивируются.

Система АВР выполнена на базе оборудования фирмы OMRON (Япония).

**Идентификация системы векторного управления
асинхронным двигателем**

Марков А.В., Шмарловский А.С.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

В настоящее время частотно-регулируемый электропривод переменного тока является главным типом регулируемого промышленного электропривода. Для достижения высоких показателей качества управления чаще всего используется принцип векторного управления. Качество системы векторного управления во многом определяется настройкой ее регуляторов.

При настройке регуляторов часто происходит сокращение лежащих вблизи от правой полуплоскости нулей и полюсов. Поскольку в реальных условиях такое сокращение выполняется неточно, может возникнуть ситуация, когда при небольшом отклонении параметров системы от расчетных значений будет происходить значительное ухудшение качества управления.

Параметры объекта управления в процессе эксплуатации все время изменяются. Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что наиболее существенное влияние на систему оказывают изменения индуктивности взаимной индукции и активных сопротивлений статорной и роторной обмоток.

Качество работы реальной системы векторного управления определяется в основном точностью идентификации параметров электропривода, которая в свою очередь определяется характеристиками используемого наблюдателя состояния. Важной задачей является оценка чувствительности электропривода к изменению параметров двигателя в процессе работы.

Выбор того или иного способа управления обуславливает последующее поведение системы при неизбежных на практике вариациях параметров. По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что система, которая демонстрирует наилучшие свойства при изменении одного параметра, как правило, уступает при вариациях других параметров. Поэтому на практике необходимо выбирать тот способ управления, который показывает лучшие результаты для наименее точно идентифицируемого параметра (параметров) в системе.

Интеллектуальная платформа построения автоматизированной системы управления

Кузнецов А.П., Шмарловский А.С.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Благодаря достижениям коммуникационных технологий современные производственные предприятия насыщены устройствами, генерирующими огромный объем данных. Однако оценка содержания полезной информации в этих данных по-прежнему остается достаточно трудной задачей.

Главная задача на сегодняшний день – свести к минимуму затраты времени и сил на автоматизацию и сконцентрировать имеющиеся ресурсы на создании новых систем. Необходимо добиться полной автоматизации оборудования и производства на базе единой платформы, исключения заботы о сетях, технологиях передачи данных, совместимости различных программ и отсутствия зависимости от одного поставщика.

Этого можно добиться применением единой среды программирования и настройки, которая позволяет создавать, настраивать и программировать сети, ПЛК, терминалы, системы динамического управления, регуляторы частоты (приводы), регуляторы температуры и датчики. Единое программное обеспечение должно поддерживать обмен тэгами (переменными) между пакетами программирования, чтобы освободить разработчика от необходимости повторного ввода тэгов ПЛК в программное обеспечение терминалов.

Установленные на объекте устройства должны программироваться и настраиваться из одной точки подключения как локально, так и по сети или с использованием модема. Это необходимо и для того, чтобы иметь возможность осуществлять мониторинг и обслуживание всего оборудования из одного места.

Для быстрого конфигурирования различного оборудования необходимо использовать предварительно настроенные электронные объекты для управления соответствующими устройствами (например, «считывание текущей скорости» регулятора частоты, получение картинка с датчика технического зрения, отображение регулятора температуры и прочее).

Алгоритмы группового управления подъемно-транспортными механизмами

Кузнецов В.П., Никонов В.Н.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

В крупных зданиях с интенсивным пассажирским потоком используются группы лифтов, эффективность которых определяется используемыми алгоритмами диспетчерского управления. Эффективность алгоритма определяется отношением количества лифтов к пропускной способности системы в единицу времени и потребляемой энергии к величине груза. Для выработки наиболее эффективного алгоритма предлагается переходить от одного стандартного алгоритма диспетчерского управления к другому в зависимости от характера пассажиропотока.

Для оценки эффективности алгоритмов диспетчерского управления было произведено моделирование системы управления лифтом для группы контрольных сценариев. Сценарий характеризует тип пассажирского потока и его интенсивность, количество и скорость лифтов, этажность здания. Были рассмотрены четыре типичных типа пассажирских потоков: максимальный поток вверх, максимальный поток вниз, поток с высокой интенсивностью вверх и вниз и поток с равномерным распределением вызовов по этажам низкой интенсивности. Качественные характеристики системы оценивались по следующим категориям: среднее время ожидания и время поездки; число не обслуженных в течение минуты пассажиров; количество метров в расчете на одного пассажира. Были исследованы наиболее распространённые алгоритмы диспетчерского управления: круговой алгоритм, алгоритм максимального потока вверх, зонирование и алгоритм трёх переходов (ЕТА). Установлено, что для интенсивного потока вверх хорошо работает алгоритм максимального потока вверх, для максимального потока вниз и равномерного потока — зонирование, ситуации двустороннего интенсивного потока — алгоритм ЕТА. Разработанная методика позволила выработать критерии перехода между алгоритмами для синтеза комбинированного алгоритма.

**Моделирование в пакете Matlab систем
с фазовым управлением**

Русак Л.В.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

MATLAB является независимым средством проведения научных расчетных исследований. Во многом это и определило средство построения моделей систем фазового управления.

В основу моделирования положим имитационную математическую модель.

Имитационная модель подразумевает модульный принцип построения. В структуре системы выделяется совокупность модулей, во взаимодействии которых протекает работа модели. Каждый модуль реализуется как отдельная функция. Все модули связываются вместе отдельной функцией, которая берет на себя вопросы организации взаимосвязи модулей, ввода, хранения и вывода информации конечному пользователю, а так же общего управления работой модели.

При рассмотрении обобщенной структуры систем с фазовым управлением выделяется совокупность модулей. Каждый модуль реализуется как отдельная функция. Все модули связываются вместе отдельной функцией, которая обеспечивает взаимосвязь модулей, а так же общее управление работой модели.

Принцип работы строится на предварительном выборе параметров системы с фазовым управлением по линеаризованной модели с последующим уточнением по нелинейной.

В момент окончания процесса решения системы ДУ, анализируется процесс прерывания. Этот процесс продолжается до тех пор, пока текущее время не совпадет с заданным временем на моделирование. После этого результаты моделирования выводятся на экран.

Литература

1. Батура, М.П. Дискретные системы с фазовым управлением / М.П. Батура. – Минск: Инс-т техн.кибернетики НАН Беларуси, 2002. – 152 с.

**Системы группового управления
роботизированными системами**

Пашкевич А.П., Чумаков О.А., Чумакова А.С.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

В настоящее время дистанционно управляемые роботы являются областью активных исследований. Задача такого робота – обеспечение системы управления информацией об окружающей среде. Групповое телеуправление – это новый подход к дистанционному управлению роботами. К рассмотренным системам относятся роботизированные Web-камеры (т.е. имеющие три степени свободы: панорамирование, наклон и zoom), установленные в любом месте и управляемые пользователями в on-line режиме.

В данной работе предлагаются алгоритмы поиска оптимального решения по технологии «Sharecam» [1]. Сущность задачи группового управления по технологии Sharecam заключается в одновременном контроле камеры несколькими пользователями, команды которых комбинируются в одну.

В ходе работы было разработано три алгоритма:

- алгоритм, который осуществляет поиск решения по сетке;
- алгоритм поиска оптимального решения по сетке пользовательских запросов;
- дистрибутивный алгоритм, где на каждого клиента приходится доля вычислений.

В процессе разработок были проведены исследования эффективности алгоритмов, которые показали, что за заданное время алгоритм поиска по сетке пользовательских запросов обеспечивает одновременную обработку до 35 пользователей.

Литература

1 Goldberg K., Song D., Levandowski A. Collaborative Teleoperation using Networked Spatial Dynamic Voting.// In Proc. Proceedings of the IEEE, Special issue on Networked Robots, vol. 91, No. 3, March 2003, p. 430 – 439.

Разработка месторождений полезных ископаемых

**Технология крепления откосов отвалов, насыпей
и нерабочих бортов карьеров**

Халявкин Ф.Г.

Белорусский национальный технический университет

Земляные откосы карьеров, отвалов, дорог, каналов и других сооружений, строящихся в горной промышленности, под действием водной и ветровой эрозии, фильтрационного потока, промерзания и оттаивания подвергаются разрушению.

Для их защиты широко применяется биологический способ закрепления: одерновка и посев трав. Однако эти способы имеют ряд недостатков: высокую стоимость, низкую производительность, трудность применения механизации из-за большого уклона откосов.

Разработанная и внедренная в производство мелиоративного и гидротехнического строительства технология механизированного закрепления земляных откосов гидропосевом многолетних трав устраняет выше названные недостатки и, как показали исследования, может успешно применяться в горной промышленности.

Для этих целей создано ряд машин, а для выполнения такой операции как планировка и подсыпка на откос растительного грунта можно применять серийно выпускаемые экскаваторы-планировщики.

Сущность гидропосева в следующем: в емкость гидросеялки засыпаются семена многолетних трав, минеральные удобрения, закачивается вода. Смесь перемешивается и с помощью гидромонитора равномерно распределяется по подготовленному для высева земляному откосу с одновременной или последующей заделкой семян в почву.

При необходимости перед гидропосевом проводится планировка поверхности откоса и подсыпка растительного фунта, а после гидропосева для предотвращения смыва с откоса семян до появления дернового покрова проводится мульчирование с применением или без применения пленкообразующих материалов.

Биофизика горных пород

Поликарпова Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Современный период развития науки характеризуется становлением новой парадигмы в естествознании, основой которой является признание, что планета Земля проявляет себя как живая сущность.

В формировании новых представлений ведущую роль играет возникшее в конце прошлого начале текущего столетия новое научное направление, названное экологической геологией.

Органически вписывается в это направление и разрабатываемая на кафедре "Горные работы" БНТУ дисциплина "Биофизика горных пород".

Предметом ее изучения являются физические процессы взаимодействия между минеральными и биологическими составляющими биосферы, а также явления, которые характеризуют минеральные системы, как особые формы жизни.

С геологическим воздействием минеральной среды на человека и другие биологические организмы обычно связывают такие явления как землетрясения и извержения вулканов.

Однако анализ разнообразных научных данных позволяет выявить многообразие физических связей между горными породами и организмами. Мир минералов, генетическими ассоциациями которых являются горные породы, составляет базис биосферы, с массой на несколько порядков превышающей массу биологической составляющей и именно он определяет ее состояние и развитие. С ним связывают зарождение биологической формы жизни современные исследователи.

В основе многих современных концепций происхождения жизни лежит идея *стартовой роли* минералов. Состав и свойства горных пород формируют вид их воздействия на биоту. Механизмы этого воздействия пока до конца не выяснены, и целью биофизики горных пород является их изучение.

Сходство по структуре и функциям простейших биосистем и кристаллов минералов, тесная их взаимосвязь в обменных процессах привели к представлению о наличии специфической минеральной формы жизни.

**Прессование торфяных и буроугольных брикетов
из месторождений Республики Беларусь**

Головач А.А., Куптель Г.А., Яцковец А.И.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь обладает значительными запасами твердых горючих ископаемых - торфа, бурых углей и горючих сланцев, использование которых в перспективе позволит снизить энергозависимость РБ от стран-экспортеров.

Одним из энергетических направлений использования бурых углей может быть их прессование в виде брикетов, что, в общем, известно. Однако прессованием именно белорусских бурых углей никто не занимался. Поэтому перед нами была поставлена задача сравнить физико-механические характеристики торфяных и буроугольных брикетов, полученных в одинаковых условиях. Были взяты образцы бурого угля Бриневского месторождения влажностью 10 % и зольностью $A^c = 20,7$ %, а также осоково-тростниковый торф влажностью 4 % и зольностью $A^c = 11$ %. Брикетыв изготовливали на ручном винтовом прессе с интервалом варьирования давления прессования от 20 до 75 МПа. С помощью стандартных методик определяли плотность и прочность на сжатие раздельно торфяных и буроугольных брикетов.

Получены следующие результаты: с ростом давления прессования плотность торфяных и буроугольных брикетов увеличивается, причем для торфяных брикетов кривая плотности расположена выше. Кривая прочности на сжатие для буроугольных брикетов, наоборот, расположена выше, чем для торфяных. Это объясняется большей дисперсностью бурого угля, а согласно теории брикетирования, чем мельче частицы прессуемого материала, тем больше возникает силовых контактов между частицами в прессуемом материале.

Таким образом, брикетируемость бурых углей Бриневского месторождения достаточно высокая, сравнимая с торфяной сушенкой, причем, если плотность торфяных брикетов в среднем на 10 % выше, зато прочность торфоугольных брикетов на сжатие больше прочности торфяных в среднем на 15 % при одинаковых условиях прессования.

Последовательность удаления разных видов влаги и скорость сушки горной породы в индукционной сушилке

Куптель Г.А., Яцковец А.И., Бурба Д.И., Марченко В.С.,
Разводовский А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для таких гидрофильных материалов, как торф, сапронель, бурый уголь и др. общепринятой является классификация форм связи влаги с сухим веществом, основанная на энергетическом принципе. Энергия связи влаги с сухим веществом определяет затраты теплоты на сушку и порядок ее удаления из материала.

Например, для торфа в порядке увеличения энергии связи различают воду механического удержания, осмотически (энтропийно) связанную, физико-химически связанную и химически связанную влагу. Из научных источников можно определить теоретические границы указанных категорий влаги: диапазон влажности $w_1 = 87-41,5$ % соответствует влаге механического удержания, диапазон $w_2 = 41,5-33$ % - осмотически связанной, диапазон $w_3 = 33-4$ % - физико-химически связанной, диапазон $w_4 = 4$ % и менее - химически связанной влаге.

Нами при сушке осоково-тростникового торфа с начальной влажностью 62 % в индукционной сушилке при температуре сушки 90°C получена экспериментальная кривая убыли влаги с характерными точками перегиба, которые можно интерпретировать как точки перехода к удалению различных категорий влаги.

Согласно нашим опытам диапазон воды механического удержания оказался равным $w_1 = 62-41,7$ %, причем четко просматривается точка $w_1' = 50$ %, которая характеризует переход от удаления менее энергетически связанной влаги макрокапилляров к микрокапиллярной. Диапазон $w_2 = 41,7-36$ % соответствует осмотически связанной влаге, диапазон $w_3 = 36-9$ % - физико-химически связанной, и диапазон $w_4 < 9$ % - химически связанной влаге.

Таким образом, полученные результаты показывают хорошее совпадение теоретических и экспериментальных критических точек, характеризующих скорость сушки и последовательность удаления влаги.

Развитие подземной разработки месторождений полезных ископаемых в Республике Беларусь

Оника С.Г., Кологривко А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных направлений недропользования в Республике Беларусь является развитие подземной разработки месторождений калийных солей, каменной и поваренной соли, гипса. Предметом экспорта и важнейшим источником получения валюты являются калийные удобрения, производимые на базе запасов калийных солей.

Детально разведаны два месторождения – Старобинское и Петриковское. Их общие запасы составляют 6903,5 млн.т сырых солей или 1216,5 млн.т окиси калия. Разрабатывается Старобинское месторождение с запасами 980,5 млн.т. окиси калия РУП «ПО «Беларуськалий». Значимыми мерами по поддержанию мощностей объединения являются: вовлечение в отработку новых участков – Березовского, Краснослободского, Кривичского, Дарасинского, вовлечение в отработку запасов, находящихся в очень сложных горно-геологических условиях. Сохранение объемов добычи руды и выпуска калийных удобрений к 2040 г. на необходимом уровне возможно за счет строительства предприятия на Нежинском участке, отработки Смоловского, Дроздовского, Октябрьского, Любанского участков, а также Петриковского месторождения. Огромные запасы поваренной соли, сосредоточены в Припятском прогибе. На Старобинском, Давыдовском и Мозырском месторождениях разведано свыше 22 млрд.т поваренной соли. Разрабатывается Мозырское месторождение ОАО «Мозырьсоль» методом подземного выщелачивания. Содержание хлористого натрия в соли 97,8 – 99,0 %. Ведется добыча каменной соли на Старобинском месторождении. Обеспечение республики продукцией на основе гипса из собственного сырья является актуальной задачей, определяющей перспективы разработки Бриневского месторождения гипса.

Анализ рыночной ситуации устанавливает годовую потребность в гипсовой продукции и определяет годовую производственную мощность рудника 500 тыс.т/год со сроком службы не менее 50 лет.

Обоснование выбора рационального типа экскаваторов с использованием теории статистических решений

Оника С.Г., Кологривко А.А.

Белорусский национальный технический университет

Практика разработки гравийно-песчаных месторождений показывает, что выбор наилучшего варианта добычного оборудования в значительной мере зависит от содержания валунов в массиве. Нами установлено, что теоретическое распределение содержания каменистых включений в массиве не противоречит распределению Вейбулла.

При разработке обводненных месторождений с различным содержанием валунов возможно применение обратных лопат и драглайнов (A_j). Условия работы экскаваторов (B_j) будут характеризоваться ситуациями с повышенным (выше среднего) и пониженным содержанием валунов в массиве. Исход применения альтернативных вариантов оборудования для различного содержания валунов в массиве предлагается задавать в виде средней технической производительности машин Π_{jy} ($m^3 / час$).

Анализ применения различных стратегий проводится на основе принципа осторожности, в соответствии с которым, предпочтение отдается такому варианту оборудования, при котором максимальный проигрыш (риск) от использования оборудования должен быть минимальным: $r_{jy} \rightarrow \min$. Риск от применения различных моделей оборудования определяется в виде выражения: $r_{jy} = \max \Pi_{jy} - \Pi_{jy}$. Оценка наилучшего варианта осуществлялась по среднему значению риска снижения производительности для каждого варианта технологии: $r(A_j, B_j) = \sum r_{jy} p_j$.

Наилучшим принимается вариант, у которого среднее значение риска имеет минимальное значение.

Способ позволяет выбирать оптимальный вариант оборудования в сложных условиях, характеризующихся неопределенностью исходных данных.

**Исследование свойств горных пород в полевых условиях
при инженерно-геологических изысканиях**

Федотова С.А.

Белорусский национальный технический университет

Основной задачей инженерно-геологических изысканий является обеспечение капитального строительства сведениями о комплексе природных (в первую очередь геологических) условий, необходимых для решения всех вопросов, связанных с взаимным влиянием геологической среды и проектируемых объектов строительства.

Основным методом изучения физико-механических свойств пород являются лабораторные исследования, которые составляют 10-11% от общего объема инженерно-геологических работ. Но в настоящее время полевые методы исследования свойств пород получили так же широкое развитие. Преимущества полевых методов по сравнению с лабораторными методами следующие: возможность изучения сравнительно большого по объему массива пород; меньшая степень нарушения естественного сложения пород; изучение свойств пород в условиях естественного состояния; возможность получения информации, которую невозможно получить лабораторными методами.

Вместе с тем полевые методы имеют и ряд недостатков, которые необходимо учитывать: изучение свойств пород полевыми методами проводится, как правило, в условиях фиксированных моментов опыта, что не позволяет достаточно учесть различные явления, связанные как с изменением естественной обстановки, так и условий, вызванных воздействием строящихся зданий и сооружений; большая дороговизна и длительность производства полевых опытов по сравнению с лабораторными; невозможность в ряде случаев производства большого числа опытов, достаточных для статистического анализа; недостаточная теоретическая разработка некоторых полевых методов и особенно недостаточно однозначная интерпретация полученных результатов.

Наиболее целесообразно предусматривать проведение полевых опытных работ в комплексе с лабораторными исследованиями и не противопоставлять эти методы.

**Повышение эффективности практического применения
оптимизационных математических моделей процессов
горного производства**

Шпургалов Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Ряд разработанных и представленных в научных статьях и отчетах математических моделей не находят широкого практического применения. На основании исследований выполненных автором сделан вывод о том, что необходимость разработки специальных прикладных программ для численной реализации моделей и обоснования их адекватности и достоверности является сдерживающим фактором практического использования моделей. Показано, что прикладные оптимизационные задачи горного производства имеют, как правило, большую размерность, что сдерживает использование численных методов для построения таких моделей.

В работе предложен алгоритм позволяющий уменьшить размерность прикладных оптимизационных задач процессов горного производства и использовать для построения таких моделей численные методы и универсальные пакеты прикладных программ такие, как Excel, MatCAD.

Суть подхода состоит в том, что предлагается в алгоритм численной реализации формализованной оптимизационной модели ввести дополнительную информацию о возможных значениях оптимизируемых переменных, и тем самым уменьшить размерность решаемой задачи и ОДЗ искомым переменных и, как следствие, обеспечить эффективное использование численных методов и универсальных пакетов прикладных программ для численной реализации модели. В результате численное решение задачи большей размерности заменяется на последовательное решение нескольких задач меньшей размерности.

Каждая такая задача формализована в виде отдельного расчетного модуля и может быть численно реализована с помощью универсального пакета прикладных программ типа Excel, MatCAD независимо от других модулей.

Литейное производство чёрных и цветных металлов

Легирующие присадки для железоуглеродистых сплавов на основе вторичных ресурсов

Слущкий А.Г., Трубицкий Р.Э., Шевцов А.А., Кирсанов Б.А.
Белорусский национальный технический университет

Одним из путей повышения качественных характеристик литых деталей из железоуглеродистых сплавов является упрочняющее легирование. В практике литейного производства для этих целей используются как чистые металлы, так и лигатуры.

Цель настоящей работы – исследование процесса получения лигатур внепечной металлотормией. В основу процесса положено восстановление металла из оксидной фазы элементом, имеющим более высокое сродство к кислороду (алюминий, кремний, магний). Важным условием эффективного протекания металлотормического восстановления являются термичность смеси, которая определяется по формуле

Проведенные расчеты показали реальную возможность алюминотермического восстановления хрома, никеля, молибдена, ванадия, титана и др. элементов. Термичность смесей для исследованных процессов восстановления оказалась различной (от 400 до 950 кал/г). Для успешного протекания металлотормического восстановления без внешнего подогрева термичность смеси должна быть не менее 550 кал/г. В лабораторных условиях проведены исследования процесса получения лигатур системы хром-никель, хром-никель-медь, кремний-медь. Анализ полученных результатов показал, что на металлургический выход по лигатуре существенное влияние оказывает характер протекания алюминотермической реакции, а так же количество восстановителя. Получена опытная партия безжелезистой лигатуры содержащей 60% хрома и 40% меди и проведены ее испытания при легировании чугуна.

На втором этапе работы проведен анализ перспективных отходов, содержащих соединения хрома, никеля, меди и др. На примере медьсодержащего шлака, обработанных катализаторов, шлака изгари, железо-никелевых аккумуляторных батарей разработаны схема их переработки, обеспечивающие максимальное извлечение металла.

Фазовые превращения в алюминиевых сплавах с учетом влияния температурной обработки расплавов

Рафальский И.В., Арабей А.В.

Белорусский национальный технический университет

Алюминиево-кремниевые сплавы являются сложными многофазными системами, в состав которых могут входить также неметаллические примеси и растворенные газы. Механические и эксплуатационные свойства литых изделий из сплавов системы Al-Si (силуминов) прежде всего зависят от фазового состава и морфологии фаз сплава. Основными факторами, влияющими на процесс кристаллизации и формирование структуры силуминов, являются не только химический состав сплава, но также исходное состояние шихтовых материалов (размеры кусков, окисленность, количество связанного углерода и т.д.), температура и длительность периодов плавления и выдержки сплава в печи, взаимодействие с огнеупорной футеровкой печи и др. Состояние сплава в жидкой фазе и, как следствие, процессы формирования структурных составляющих сплава при кристаллизации могут существенно изменяться в зависимости от условий выплавки. Перспективным направлением является применение высокотемпературного перегрева (термовременной обработки) при плавке. Термовременная обработка позволяет значительно снизить уровень микронеоднородности в расплаве, что, безусловно, отразится и на характере кристаллизации сплава в литейной форме.

В работе было изучено влияние температурной обработки алюминиево-кремниевых поршневых сплавов в жидком состоянии на фазовые превращения и морфологию образующихся при затвердевании фаз (α Al-твердого раствора, (α Al+Si)-эвтектики, кристаллов первичного кремния).

Выполнен функциональный анализ средств измерения температуры в интервале кристаллизации металлов и сплавов. Проведены экспериментальные исследования кристаллизации сплавов системы Al-Si доэвтектического, эвтектического и заэвтектического составов с учетом температурной обработки расплава.

Оценка экологической безопасности процессов плавки и внепечной обработки алюминиевых сплавов

Кудравец Н.И.

Белорусский национальный технический университет

Параметры пылегазовых выбросов от плавильных печей для плавки цветных сплавов зависят от типа плавильного агрегата, его производительности, вида используемого топлива, марки выплавляемого сплава, качества переплавляемой шихты, используемых флюсов, покровных материалов, модификаторов, способов рафинирования и газоотбора. При плавке алюминиевых сплавов из подготовленной шихты в электропечах сопротивления выбросы вредных веществ минимальны. Средняя концентрация пыли из возгонов оксидов алюминия, магния, кремния, меди, цинка и других материалов не превышает 0,02 г/м³ при отборе газов зонтом. Наибольшие выбросы пыли вышеперечисленных оксидов образуются при рафинировании газообразующими препаратами и достигают 3 г/м³. В процессе рафинирования гексахлорэтаном и другими хлорсодержащими соединениями происходит выброс паров гексахлорбензола в количестве до 1,2 кг на тонну расплава, которые затем конденсируются на пыли. При плавке в индукционных печах ИАТ-6 выделяется до 3 кг вредных выбросов на тонну расплава силумина, в которых преобладают оксиды алюминия, гексахлорбензол и соли хлора и фтора. Выделение последних связано с необходимостью рафинирования и модифицирования расплавов. Следует также отметить, что в случае применения для обработки алюминиевых сплавов жидких универсальных флюсов из флюсоплавильной установки выделяются высокотоксичные газы – хлор и фтор. При таком варианте рафинирования и модифицирования объемы газовых выбросов в атмосферу цехе еще выше, чем при использовании сухих флюсов.

Вопрос кардинально может быть решен при использовании комбинированных флюсов повышенной экологической чистоты. В этом случае содержание вредных веществ на рабочих местах и в атмосфере промышленной зоны остается на уровне, не превышающем ПДК.

**Анализ конструкций пылегазоочистных сооружений,
используемых при плавке цветных сплавов**

Кудравец Н.И., Неменёнок Б.М.

Белорусский национальный технический университет

Анализ выбросов, образующихся при плавке алюминиевых сплавов в печах САТ-2,5; ИАТ-1М; ИАТ-1,5; ИАТ-2,5; ИАТ-6 показал, что состав и концентрация пылегазовых выбросов зависят от периода плавки, загрязненности шихты и способа рафинирования. При использовании шихты, загрязненной маслами и смазками, выбрасывается пыль, состоящая из возгонов алюминия, SiO_2 и Al_2O_3 , сажи, а также масляный туман и аэрозоли смол.

Вредные газовые составляющие выбросов включают в себя CO ; SO_2 ; NO_x ; H_2S и др. Максимальная запыленность от одной печи составляет в период плавки $\sim 1,2$ г/м³, а средняя запыленность в общем газоходе – около 0,19 г/м³. Минимальные ($\sim 0,015$ г/м³) по содержанию пыли пылегазовые выбросы от печей наблюдаются в период доводки сплавов до заданного состава.

Содержание вредных газовых составляющих, запыленность, состав выбросов в период рафинирования сплава зависят от его способа. При рафинировании универсальным флюсом выбрасывается пыль, состоящая из фтористых и хлористых солей, пыли алюминия и оксидов металлов. Пиковые концентрации вредных газов достигают 1,1 г/м³, а пыли – 2 г/м³. Средняя запыленность в общем газоходе от нескольких печей во время рафинирования составляет $\sim 0,13-0,26$ г/м³, а среднее содержание вредных газов $\sim 0,2$ г/м³.

При отсутствии в выбросах вредных газов, паров масла и липких пылевых ингредиентов целесообразно применять сухие методы очистки, например, рукавные фильтры. В этом случае отбираемые от плавильной печи газы направляются в сухой аппарат – искрогаситель инерционного типа, который устанавливается перед рукавным фильтром для предотвращения прожигания фильтрующего материала. Можно использовать также для этих целей и аэродинамические аппараты пылегазоочистки (АПА).

Влияние железа на технологические свойства алюминиевых сплавов

Неменёнок Б.М., Калиниченко В.А., Арабей А.В.
Белорусский национальный технический университет

Применительно к литейным алюминиевым сплавам железо является вредной примесью, поскольку заметно снижает их пластические характеристики. Однако при литье под высоким давлением в сплавах рекомендуется поддерживать концентрацию железа на уровне 1-1,3%, чтобы исключить приваривание отливки к пресс-форме. Известны также сплавы на основе алюминия, где содержание железа допускается до 1,5% и выше. Проведенными исследованиями установлено, что повышение загрязненности алюминия железом приводит к снижению жидкотекучести при температурах литья 700-7800 °С.

Присутствие железа в техническом алюминии инициирует образование зародышей для кристаллизации первичного зерна алюминия и его более эффективное измельчение. Увеличение числа центров кристаллизации способствует «замутнению» расплава алюминия и повышению его вязкости, что негативно сказывается на жидкотекучести. Анализ горячеломкости технического алюминия с различными добавками Si и Fe показал, что чем меньше в алюминии кремния и больше железа, нейтрализующее действующего на кремний, тем ниже склонность алюминия к образованию горячих трещин.

При термическом анализе сплава Al-12% Si с различными добавками железа (0,5-2,0%) установлено, что железо снижает температуру ликвидуса, практически не влияет на температуру эвтектического превращения и температуру солидуса, снижая при этом интервал кристаллизации. Наиболее заметное влияние железо оказывает на максимальную скорость роста твердой фазы. Так при содержании в сплаве 0,5% Fe данный показатель составляет 6,71, а для 2% Fe – 13,03. При этом наиболее существенное различие в скоростях затвердевания наблюдается при образовании 5...10% твердой фазы, что подтверждает модифицирующее действие железа при кристаллизации силумина.

Технология получения вспененного алюминия из вторичных алюминиевых сплавов: свойства и возможные области применения

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы во всём мире развивается концепция облегчения металлоконструкций и изделий. Одну из ниш в этой концепции занимают вспененные материалы, в основном, на основе алюминия и его сплавов. Несмотря на то, что эти материалы открыто более 40 лет назад, до сих пор их внедрение в промышленности весьма ограничено. Это может быть объяснено консервативностью технологий применяемых на предприятиях, на ранних этапах проблемы с контролем качества при производстве вспененных материалов и массивность многих ранее выпускавшихся узлов в машиностроении.

В настоящее время принято различать три основные группы вспененных материалов по способу изготовления: литейно-металлургические пены порошково-металлургические пены, и полученные прочими способами. Эти типы делятся на подтипы по виду пор находящихся в них: закрытые или открытые. Эти особенности позволяют металлическим пенам обладать рядом специфических свойств, к примеру плотностью $0,1 - 0,8 \text{ г/см}^3$.

Практически все вспененные материалы полученные литейным способом являются пенами с закрытым типом пор. Основными компонентами получения данного типа материалов являются расплавленная первичная или вторичная алюминиевая основа, а так же (в зависимости от типа процесса) материалы, увеличивающие вязкость расплава такие как натрий, кальций, оксид алюминия, карбид кальция или ряд других добавок.

Одним из наиболее распространенных процессов литейного получения пеноматериалов является АЛКАН-процесс. В схематическом виде процесс может быть разбит на следующие этапы: плавка → добавление керамического упрочнителя → введение инертного газа → вытяжка вспененной субстанции на алюминиевой фольге. В результате получается вспененный алюминий с варьируемой пористостью от 80 до 97%.

Параметрическое моделирование литниково-питающих систем

Бежок А.П.

Белорусский национальный технический университет

Качественный расчет элементов ЛПС для различных типов литья является сложной задачей и зависит, в первую очередь, от опыта и профессиональных качеств инженера-литейщика. Конечная цель расчета – получение геометрических параметров (размеров) всех элементов ЛПС. При этом математически расчеты выполняются по методикам, полученным как на основании обработки экспериментальных данных, так и с учетом объективных физических законов. Для расчетов используют также и данные из справочной литературы. По их результатам выполняется чертежная документация и (или) строятся трехмерные модели, которые в дальнейшем вместе с моделью отливки можно использовать для расчетов процессов заполнения формы и кристаллизации расплава в любой специализированной литейной САПР. Ускорить выполнение последних двух этапов – математических расчетов с использованием справочных данных и автоматическую генерацию чертежей и 3D моделей можно с использованием систем автоматизированного проектирования.

Решить эту задачу можно несколькими способами:

1. Использовать готовое программное обеспечение (например, украинских разработчиков), работающее в среде САПР «Solid Works». Пользователь на выходе получает готовые 3d модели ЛПС;
2. Самостоятельно автоматизировать расчеты, используя базовые знания в области программирования и САПР. В этом случае можно использовать различные подходы к решению задачи. Во-первых, можно написать самостоятельное приложение для Windows на любом из языков программирования (Delphi, VBA и др.). Во-вторых, те же алгоритмы расчета можно реализовать с использованием языков программирования, интегрированными в САПР («Solid Works», AMD), и получать в результате расчетов как данные, так и 3d модели и чертежи. В-третьих, реализовать расчет ЛПС и получение 3d моделей можно и без использования программирования за счет параметрических возможностей САПР.

Получение мелющих тел из графитизированных белых чугунов повышенной стойкости в условиях РУП "Полесьеэлектромаш"

Бестужев А.Н., Бестужев Н.И., Трибушевский В.Л.
Белорусский национальный технический университет

С точки зрения авторов перспективным является использование белых износостойких чугунов в качестве литого конструкционного материала, для изготовления мелющих тел. (Объективной предпосылкой такого вывода является значительное, в 1,5-3 раза, превышение микротвердости фаз, отвечающих за показатели износостойкости материала в сталях и в белых чугунах. Вместе с тем, низкая ударная вязкость белых износостойких чугунов является существенным сдерживающим фактором широкого распространения этих материалов при изготовлении отливок.

В связи с этим была разработана и опробована технология изготовления отливок «мелющий шар» в условиях РУП «Полесьеэлектромаш». Внепечная обработка исходного низкохромистого расплава чугуна (1,0-3,0% Cr) проводилась по следующей схеме. После расплавления шихтовых материалов скачивался шлак, исходный жидкий чугун доводился по химическому составу и температуре. Затем проводилась операция ковшевого модифицирования расплава специальной комплексной лигатурой, с целью частичной графитизации чугуна и сфероидизации графитных включений в отливках «мелющий шар». Расход сфероидизирующе-графитизирующей лигатуры составил 0,7-1,0% от веса обрабатываемого жидкого чугуна.

Выводы: Графитизирующая и сфероидизирующая обработка расплава чугуна обуславливает отсутствие трансформации, значительно снижает объем усадочных дефектов в мелющих шарах, кроме того, шаровидные включения графита способствуют объемному восприятию ударных нагрузок в процессе реальной эксплуатации. Все это, при незначительном снижении твердости на 2-3 HRC (износостойкости), в 2,5-3,5 раза повышает ударостойкость мелющих тел.

Разработка бездымного экологически безопасного препарата для объемной обработки расплавов на основе алюминия

Задруцкий С.П., Шешко А.Г., Розум В.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях, когда особенно остро стоят вопросы минимизации вредных промышленных выбросов, создание бездымного, экологически безопасного таблетированного рафинирующего препарата для объемной обработки расплавов на основе алюминия является весьма актуальным.

Широко используемые для этих целей в промышленности материалы содержат в качестве основных рафинирующих реагентов хлорсодержащие или серосодержащие соединения, что вызывает выделение в процессе обработки расплава веществ, относящихся к второму классу опасности. Специалистами кафедры МЛС БНТУ разработан принципиально новый экологически безвредный таблетированный препарат на основе азотсодержащих соединений и плавленных солевых композиций, позволяющий эффективно снижать в расплаве содержание неметаллических включений и газов.

Принципиальным отличием созданного препарата от известных аналогов является механизм разложения таблетки, который включает в себя не только термическую диссоциацию и испарение с образованием рафинирующего газа, но и растворение компонентов с последующей «продувкой» расплава наряду с газообразными реагентами высокодисперсными капельками рафинирующей жидкости. Низкая скорость всплывания, высокая дисперсность и равномерное распределение рафинирующих соединений по всему объему обрабатываемого расплава обеспечивают стабильное и эффективное рафинирование металла. Для дополнительного связывания водорода в устойчивые гидриды в состав таблетированного препарата были введены геттеры (Ti, Zr) в виде солей, а для минимизации потерь алюминия со шлаком – осушители шлаковой фазы.

**Перспективы развития литья под давлением
в Республике Беларусь**

Михальцов А.М.

Белорусский национальный технический университет

Литьё под давлением – один из наиболее производительных и прогрессивных способов литья. Данный способ позволяет получать отливки весом от нескольких грамм до двух килограммов.

Литьё под давлением используется преимущественно для изготовления отливок из сплавов на основе алюминия и цинка, реже изготавливают отливки из сплавов на основе меди и свинца. Традиционными потребителями отливок являются авто и тракторостроение, приборостроение, авиастроение. В силу известных обстоятельств часть небольших цехов и участков предприятий приборостроения прекратили своё существование из-за отсутствия заказов.

Основной проблемой работающих цехов и заводов является морально устаревшее оборудование, которое не позволяет изготавливать отливки требуемого качества. Некоторые предприятия, такие как Минский механический завод имени С.И. Вавилова сумели провести модернизацию своего производства за счёт закупки и установки импортного оборудования. Но его стоимость пока ещё остаётся неподъёмной для значительной части более мелких предприятий. В силу того, что данное оборудование в Республике Беларусь не производится, закупка современного импортного оборудования, единственно реальный путь дальнейшего развития этого способа изготовления отливок.

Наряду с современным оборудованием необходимо широкое внедрение разработок с использованием современных компьютерных технологий. Они позволяют не только значительно быстрее и качественнее спроектировать технологическую оснастку, но и провести моделирование процессов заполнения расплавом полости пресс-формы и затвердевания отливки. А это позволяет внести необходимые коррективы в конструкцию пресс-формы и тем самым снизить вероятность получения дефектных отливок.

**Исследование свойств технологических смазок
для литья под давлением алюминиевых сплавов**

Пивоварчик А.А.

Белорусский национальный технический университет

При изготовлении отливок литьём под давлением нанесение разделительных покрытий на технологическую оснастку является неременным условием. В зависимости от состава и способа нанесения разделительных покрытий смазки формируют защитный изоляционный слой, между литейной формой и кристаллизующейся отливкой и тем самым способствуют более свободному удалению отливок из полости пресс-формы, предотвращают образование задиров, а также позволяют регулировать тепловой режим работы пресс-формы.

Свойства смазок условно можно разделить на две группы: технологические и эксплуатационные. К технологическим свойствам относят смазывающую способность, адгезионную способность, эрозионную стойкость. Данные свойства являются основными, т.к. непосредственно влияют на работу смазки.

К эксплуатационным свойствам следует отнести: седиментационную устойчивость смазок, коррозионную активность, внешний вид, стабильность при длительном хранении, РН эмульсии.

Цель настоящей работы - исследование технологических и эксплуатационных свойств разработанных составов смазок, используемых при литье под высоким давлением алюминиевых сплавов.

Исследование прошли наиболее распространенные составы смазок, полученные из продуктов нефтепереработки, на основе горного воска, смазка «Петрофер» производства Германии, а также разработанная смазка на основе высокомолекулярных кремнийорганических соединений. Изучение свойств технологических смазок осуществляли по стандартным и специально разработанным методикам. В ходе работы установлено, что разработанная смазка на основе высокомолекулярных кремнийорганических соединений по своим свойствам не уступает ранее разработанным смазкам и импортному аналогу.

**Анализ способов рециклинга вторичного сырья,
содержащего цветные металлы, с использованием
металлургической обработки в восстановительной среде**

Андриц А.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях стремительного роста научно-технического прогресса растет и объем материалоемкого производства. В результате образуется большое количество отходов – это как отходы непосредственно производства, так и отходы, образующиеся в результате использования готовой продукции, например, упаковка пищевых продуктов, содержащая значительное количество алюминия, отходы электротехнического происхождения и т.д.

При переработке данного вида сырья возникает множество проблем на всех стадиях рециклинга, включающего сбор, сортировку, разделку, сушку, сепарацию, металлургическую обработку и пр. Универсальных схем переработки пригодных для всех видов отходов, содержащих цветные металлы нет. Из большинства предлагаемых технологий можно выделить небольшое количество, которые охватывают значительный спектр перерабатываемого сырья, например способ и устройство переработки отходов, содержащих органические вещества (Патент № 405, 406 автор Тамбовцев Ю.И.).

По данным технологиям были успешно переработаны отходы алюминиевого и медного кабеля со свинцовой и алюминиевой оболочкой без предварительной разделки, телевизионные трансформаторы, дробленая полимерная изоляция (содержание меди 10-20 %), отходы омедненного стеклотекстолита, свинцовые аккумуляторы без разделки, смесь промасленной алюминиевой стружки с чугуном, бытовые алюминийсодержащие и кожевенные хромсодержащие отходы.

Также указанным способом возможна переработка, маслосодержащие отходы шлифования и стружка, осадки сточных вод, гальванические отходы, лигнин, пластмассы, резиновая обувь и автомобильные покрышки (с выделением бензола, скипидара, бензина и образованием твердого остатка, содержащего углерод и 15 % серы).

Сравнительный анализ свойств экспериментальной высокомарганцовистой немагнитной стали в трубных заготовках, полученных разными способами литья

Земсков И.В., Филанович И.К.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность поиска месторождений нефти и газа значительно возрастают при наклонном и горизонтальном бурении скважин. При этом используются забойные телеметрические системы, размещаемые внутри трубы.

Для выбора оптимального способа производства трубных заготовок для телеметрических систем буровых установок выполнен сравнительный анализ свойств экспериментальной стали в заготовках, получаемых центробежным и непрерывным методами литья. Заготовки непрерывного литья получали в лабораторных условиях БНТУ, а центробежного – в заводских.

Расчетные значения удельной мольной энергии связи (кгм/моль), удельной объемной энергии связи (кгсмм/мм³) и оптимального предела прочности (кгс/мм²) составляют соответственно: для центробежного литья – 1070,20; 111,15; 91,92; для непрерывного литья – 1089,97; 112,08 и 112,08.

Фактические значения предела прочности (кгс/мм²) составляют: для центробежного литья – 83,2; для непрерывного – 103,8.

Микроструктура стали в непрерывнолитых заготовках более мелкозернистая со средним размером зерна 0,1 мм, а в центробежных размер зерен 0,3-0,7 мм.

Рентгеноструктурный анализ (интенсивность интерференционных линий, их уширение, межплоскостные расстояния) показал, что непрерывнолитая сталь имеет более совершенную кристаллическую структуру.

Исследования магнитной проницаемости изучаемых сталей показали, что они являются практически немагнитными.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что применение непрерывного метода литья для стали 45Х6Г13Н7ФЛ обеспечивает изделиям более мелкую и плотную структуру и более высокие прочностные характеристики.

**Порошковая металлургия,
сварка и технология
материалов**

Что такое свариваемость металлов

Жизняков С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Существует несколько определений свариваемости металла, большинство из которых придерживается принципа пригодности металла для достижения заданной цели. ГОСТ 29273-92 «Свариваемость. Определение», базирующийся на международном стандарте ISO 581-80 дает следующее толкование свариваемости металла: «Металлический материал считается поддающимся сварке до установленной степени при данных процессах и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем технологическом процессе, чтобы свариваемые детали отвечали техническим требованиям, как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют».

Содержание указанных стандартов, изучение литературных данных, практика промышленных предприятий и личный опыт автора позволяют прийти к мнению, что понятие свариваемости металла лежит на стыке ряда дисциплин; таких как металловедение, теория сварочных процессов, проектирование сварных конструкций, сварочное производство. При этом свариваемость характеризуют четыре взаимосвязанных переменных параметра: основной металл, условия сварки, тип конструкции, ее назначение.

Основной металл определяет *принципиальную пригодность* к сварке, условия сварки – *технологическую возможность сварки*, тип конструкции – *конструктивную пригодность металла*, назначение – *надежность* (эксплуатационную пригодность) сварной конструкции.

Свариваемость металла данным способом сварки тем лучше, чем меньше факторов, связанных с принципиальной пригодностью к сварке, технологической возможностью сварки, конструктивной пригодностью металла и надежностью сварной конструкции, необходимо учитывать при изготовлении конструкции определенного назначения.

**Комплексный подход к оценке фактического состояния
металла при эксплуатации различных объектов**

Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Проблема оценки фактического состояния материала металлоконструкций была и остается весьма актуальной. При этом наиболее острой она является для ответственных объектов (сосуды, котлы, трубопроводы, грузоподъемные краны и т.п.).

С позиции максимальной объективности оценки и точных количественных параметров состояния металла хорошо зарекомендовали себя разрушающие методы контроля, в первую очередь, определение механических свойств. Однако для их использования необходимо вырезка стандартных образцов из конструкции со всеми вытекающими последствиями. Применение большинства неразрушающих методов контроля дают, как правило, качественную картину состояния диагностируемой конструкции без детализации на фактических механических свойствах металла, которые в конечном счете и определяют работоспособность и надежность работы конструкции. На основании анализа преимуществ и недостатков методов и методик, применяемых при диагностировании различных металлических объектов, а также обобщая собственные исследования, установлена необходимость разработки именно комплексной методики для оценки фактического состояния металла различных объектов.

Предлагаемая методика основывается на преимущественном применении неразрушающих методов контроля. В качестве основных предлагается использовать методы указанные ниже. 1 метод – метод определения механических свойств материала, основанный на оценке характера взаимодействия пирамидального индентора с поверхностью металла диагностируемого. 2 метод – метод оценки состояния металла и степени его деградации по анализу особенностей микроструктуры с использованием переносных микроскопов. Работоспособность и эффективность указанных методов подтверждены при диагностике различных объектов: сосудов, трубопроводов и кранов.

**Проведение квалификации технологии сварки
в соответствии с европейскими стандартами
серии СТБ ЕН 288**

Писарев В.А., Нестеров В.Г., Окунь Г.И.

Белорусский национальный технический университет,

Стандарты серии ИСО-9000 относят сварку к специальным технологическим процессам. Это означает, что качество сварных соединений не может быть гарантировано контролем какими-либо методами, а должно обеспечиваться системой требований к производственным элементам на всех этапах изготовления сварной конструкции.

Одним из наиболее важных элементов является квалификация (аттестация) технологии сварки, регламентируемая стандартами серии СТБ ЕН – 288, в частности, наиболее распространенным СТБ ЕН-288-3 «Квалификация технологических процессов сварки металлов. Требования к квалификации технологического процесса дуговой сварки сталей на основе испытаний».

Квалификация технологии сварки проводится путем сварки, неразрушающего и разрушающего контроля, металлографических исследований контрольных сварных образцов, которые являются однотипными производственным конструкциям по базовым параметрам, установленным СТБ ЕН 288-3. Сварка и оценка качества образцов проводится под контролем компетентной, признанной Госпромнадзором, головной специализированной научно-исследовательской организации.

Данная организация по результатам квалификации оформляет отчет о квалификации технологии сварки (WPAR) и утверждает инструкции на технологический процесс сварки (WPS).

После этого технология сварки признана квалифицированной (аттестованной), что дает гарантию потребителю сварочной продукции, что на данном предприятии технология сварки отработана для соответствующих конструкций и оценена независимой признанной компетентной организацией в соответствии с европейскими нормами.

Направления реализации эффективного применения MIG /MAG сварки в условиях открытых площадок строительной отрасли

Жизняков С.Н., Пантелеенко Ф.И., Писарев В.А.
Белорусский национальный технический университет

Основным способом сварки в строительной отрасли является ручная дуговая сварка покрытыми электродами. При этом применение высокопроизводительных процессов механизированной сварки в защитных газах ограничивается условиями выполнения работ на открытых площадках, в первую очередь, сносящими ветровыми потоками.

Предварительные исследования, проведенные специалистами БНТУ в рамках выполнения задания ГПОФИ «Строительство», показывают, что применение механизированных способов сварки в защитных газах на открытых строительных площадках можно реализовать при скоростях ветра до 5-7м/с, а в перспективе до 10м/с.

Основные задачи исследований по повышению эффективности газовой защиты, можно объединить в пять групп:

- 1) механические – предохранение струи защитного газа от воздействия воздушных потоков с помощью металлической преграды, газовой завесы и других специальных средств;
- 2) газодинамические – повышение устойчивости самой струи путем: увеличения расхода защитного газа, придания проточной части сопла формы, отвечающей специальным аэродинамическим требованиям, подачи струи по спиралевидной траектории и применение других мероприятий;
- 3) металлургические - дополнительная защита расплавленного металла от неблагоприятного воздействия воздуха за счет выбора специального состава сварочной проволоки, режимов и техники сварки;
- 4) технические – разработка специальных конструкций подающих механизмов и сварочной горелки (с учетом п.2) с современными микропроцессорными устройствами и т.п.;
- 5) комплексные – различные сочетания механических, аэродинамических, металлургических и технических способов.

Математическая модель оценки напряженно-деформированного состояния в сварном соединении

Афшин Хейдари Монфаред

Белорусский национальный технический университет

Сварка конструкций – сложный процесс в котором существует взаимосвязь между температурой и деформациями. Основная причина возникновения остаточных напряжений в сварных соединениях – тепловые напряжения, вызванные нагревом и охлаждением. Поведение материала при сварке зависит от теплоемкости, плотности и тепловой проводимости материала.

На тепловые и механические свойства материала оказывает влияние температура и микроструктура формируемого сварного соединения. В работе для получения модели оценки напряженно-деформированного состояния в сварном соединении стали 10X18H9T был использован метод конечных элементов в двух мерных координатах.

Совместное решение уравнений

$$\text{баланса теплоты } \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q;$$

$$\text{деформированного состояния } \frac{\partial^2 \Delta \varepsilon_{xx}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta \varepsilon_{yy}}{\partial x^2} = 2 \frac{\partial^2 \Delta \varepsilon_{xy}}{\partial x \partial y}$$

$$\text{и равенства } \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0,$$

$$\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = 0$$

позволило получить математическую модель напряженно-деформированного состояния возникающего при сварке аустенитной стали 10X18H9T.

$$\begin{aligned} & \int_1^n \int_1^n \left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} (B_1 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}) \right) dx dy + \int_1^n \int_1^n \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} (B_1 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}) \right) dx dy = \\ & - \int_1^n \int_1^n \left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} (B_2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}) \right) dx dy - \int_1^n \int_1^n \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} (B_2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}) \right) dx dy + \int_1^n \int_1^n \left(\frac{\partial^2 (b_{xx})}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 (b_{yy})}{\partial x^2} \right) dx dy \\ & \int_1^n \int_1^n \left(2 \frac{\partial^2 (-\psi \frac{\partial^2 \phi}{\partial \phi \partial x} + \frac{1}{2G} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial x})}{\partial x \partial y} \right) dx dy. \end{aligned}$$

**Структурные и гидродинамические свойства
фильтрующих материалов из стальных волокон**

Капцевич В.М., Кривальцевич Д.И., Маршина Е.А.,
Петрикевич М.Е., Алхименок Е.В., Вольский В.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Пористые волокнистые материалы (ПВМ) обладают рядом преимуществ перед порошковыми материалами (ППМ): большей пористостью, проницаемостью, прочностью, фильтрующей способностью и др. Однако дефицитность и дороговизна исходного сырья (волокон) сдерживает их практическое внедрение. В то же время в связи с интенсивным развитием машиностроения в Республике Беларусь имеется большое количество отходов металлокордового производства. Такие отходы являются хорошей сырьевой основой для получения ПВМ.

Целью работы является изучение свойств стальных волокон, полученных мерной резкой проволоки, изготовление образцов и исследование их структурных и гидродинамических свойств.

Исходным сырьем для изготовления ПВМ служили отходы металлокордового производства РУП «БМЗ», г Жлобин. Технология изготовления ПВМ, как и ППМ, состоит из засыпки предварительно нарезанных волокон в пресс-форму, прессования и последующего спекания.

Исследования структурных и гидродинамических свойств образцов проводили: определение пористости Π – согласно ГОСТ 18898-89, коэффициента проницаемости K – согласно ГОСТ 25283-93. При определении размеров пор использовали расчетный метод, основанный на определении среднего гидравлического диаметра $D_{п\ гидр} = \sqrt{32K / \Pi}$.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить взаимосвязь коэффициента проницаемости от пористости и диаметров пор и предложить новые технические решения по использованию данных материалов в качестве фильтроэлементов для магнитных фильтров, улавливающих ферромагнитные загрязнения (стружку, окалину, продукты износа).

Струйно-абразивная обработка рабочей поверхности чугунного коленчатого вала

Солоневич А.Н., Горанский Г.Г.

Белорусский национальный технический университет

Степенью адгезии покрытий можно управлять, изменяя механизм взаимодействия напыляемых частиц с подложкой. Одним из параметров такого взаимодействия является шероховатость подложки.

Абразивная обработка поверхности позволяет очистить ее и перевести в активное состояние, повысить контактную температуру на выступающих элементах рельефа, увеличить площадь контактного взаимодействия.

Основными параметрами процесса струйно-абразивной обработки (САО) являются расстояние от среза сопла струйно-абразивного аппарата, угол его наклона относительно обрабатываемой поверхности, число проходов и давление сжатого воздуха, размеры частиц абразива.

Твердость ВЧ-чугуна, из которого изготавливаются коленвалы ЗМЗ-53, составляет 20-22 HRC, поэтому САО поверхностей его шеек к напылению производили стальной или чугунной колотой дробью ДЧК или ДСК - № 05 и 08 по ГОСТ 11964—81 Е (размер частиц абразива в пределах 500 – 1200 мкм). В результате САО подложка приобретает шероховатость в пределах R_a 20-40 мкм, при среднем шаге неровностей $S_m = 50...300$ мкм.

САО производилась при температуре окружающей среды не ниже +10 °С и относительной влажности — не выше 70 %.

Так как шейки коленвала расположены между щеками, угол атаки струи абразива (угол между осью струи абразива и плоскостью очистки) находился в пределах от 60 до 90°. Расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности составляло 60 – 100 мм при давлении воздуха не менее 0,5 МПа.

Перед напылением покрытий, для полного удаления влаги и масла из пор, чугунные детали нагревали в печи до 250 °С.

Покрытие толщиной 1 мм наносилось методом газопламенного напыления. Максимальная прочность сцепления была достигнута при угле атаки САО 70-75°.

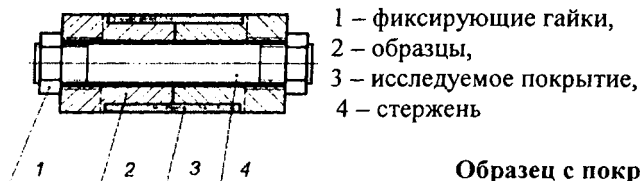
Газопламенное напыление медесодержащих порошковых композиций на чугунную подложку

Солоневич Н.Н., Горанский Г.Г.

Белорусский национальный технический университет

Целью работы являлось определение прочности когезии многокомпонентных покрытий из порошков на основе алюминиевой бронзы и соединений железа, нанесенных на чугунную основу при различных режимах газопламенного напыления для оптимизации технологии восстановления чугунных валов.

Исследования прочности на растяжение выполняли на шлифованных покрытиях, нанесенных на цилиндрические образцы диаметром 40 мм (рисунок). Использовалась разрывная машина «Instron» при скорости подачи traversы 0,5 мм/мин.



Образец с покрытием

Таблица – Прочность когезии в покрытиях

Состав порошка покрытия	Fe_xO_y	ВКНА	FeВ
σ_b , МПа	18	35	332

Прочности покрытий из алюминиевой бронзы БрАЖНФ и композиционного порошка ПТ-19Н-01 отличаются в пределах 10%. Прочность покрытия из смеси 50 % БрАЖНФ + 35 % ПТ-19Н-01 + 15 % FeВ возрастает при введении аморфного порошка. Увеличение же в смеси до 45 % FeВ и уменьшение до 5 % ПТ-19Н-01 практически не повлияло на прочность покрытия. При 5 % ВКНА, увеличение с 15 до 45 % концентрации FeВ и уменьшение с 5 до 30 % ПТ-19Н-01 ведет к снижению прочности покрытия с 273 до 202 МПа.

Использование вместо FeВ - порошка окалины сопровождается уменьшением прочности покрытий в 2 – 3 раза.

Особенности исследования структуры порошковых материалов с использованием сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU

Григорьев С.В., Нисс В.С.

Белорусский национальный технический университет

На стадии оптимизации технологии получения или обработки материалов, описания физико - химических процессов, происходящих с материалом на микро- и наноуровне возникает потребность в изучении их тонкой структуры, в частности, топографии поверхности микрошлифа или излома, качественного и количественного распределения химических элементов (в том числе «легких» - В, С, N, О, F) и фаз по поверхности и объему материала, исследования кинетики взаимодействия компонентов, анализе формы частиц порошка, исследования распределения этих частиц по фракциям вплоть до наноуровня, проведения измерения геометрических параметров макро- и микроизделий.

Практически все вышеназванные исследования можно провести при использовании сканирующего электронного микроскопа. В НИИЛ новых конструкционных материалов с конца 2007г. в эксплуатации находится сканирующий электронный микроскоп Vega II LMU («Tescan», Чехия) с микроанализатором INCA Energy 350 («OXFORD Instruments», Англия).

С использованием данного микроскопа можно анализировать как проводящие, так и непроводящие материалы (например, керамику, кристаллы) без дополнительного нанесения на их поверхность электропроводящего покрытия.

В качестве объектов исследования могут выступать как микрообъекты (например, отдельные частицы порошка, нанотрубки), так и реальные макроизделия (например, компоненты электронной техники, детали машиностроения, отливки с габаритами до 150 мм и массой не более полукилограмма).

Анализ результатов исследования выполняется с использованием стандартных компьютерных программ, поставляемых изготовителями оборудования.

**Методика преподавания курса
«Технология конструкционных материалов»**

Кучерявый А.Г.

Белорусский национальный технический университет

При изучении программы ТКМ студент должен осмыслить 5 – 7 различных базовых технологий промышленности по изготовлению изделий (деталей), которые должны соответствовать требованиям эксплуатационных свойств (твердость, прочность, упругость, электросопротивление и т.п.), предъявляемым к самой детали, к материалу этой детали. Студент должен понять, что для получения детали нужно, чтобы материал легко поддавался резанием, пластической деформацией, сваркой, имел хорошую жидкотекучесть при изготовлении отливок и т.д.

С целью стабилизации инженерных умений студенту предлагается по курсу ТКМ изготовить деталь по схеме технологической последовательности:

1 – чертеж детали (эскизно); 2 – учет условий работы детали с целью определения требуемых свойств к материалу детали и самой детали; 3 – выбор материала по ГОСТу или техническим регламентам; 4 – изготовление материала; 5 – получение полупродукта (гранулы, слиток, отливка, заготовка, поковка и т.п.); 6 – первичная обработка полученного материала; 7 – получение окончательной формы детали; 8 – фиксация эксплуатационных свойств детали методами термической, химико-термической обработки и обработки материалов давлением.

При усвоении ТКМ по такой схеме у студента выстраиваются инженерные понятия технологического процесса, технологического этапа, технологических операций с целью получения детали с заданными свойствами как для периода обработки материала, так и для обеспечения эксплуатационных свойств. При этом студент осознает, понимает, что любая технология – это знание сути изготовления продукции и нужно уметь выбрать эффективное, конкретное оборудование, инструмент и знать особенности исполнения и суть технологических операций.

Электролитно-плазменная обработка изделий сложной формы

Нисс В.С., Кособуцкий А.А., Королёв А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Электролитно-плазменная обработка (ЭПО) известна как высокопроизводительный метод финишной обработки, очистки, подготовки под покрытия поверхностей изделий сложной формы.

Анализ закономерностей размерного съема материала в процессе ЭПО нержавеющей стали позволил сделать вывод о том, что данный метод обработки может быть использован не только для финишной обработки, но и в качестве формообразующей операции для деталей типа тел вращения малого диаметра.

Разработанная методика нашла практическое применение при изготовлении ступенчатого ультразвукового волновода для разрушения тромбов внутри сосудов с диаметрами ступеней до 0,5 мм.

Волновод формируется ступенчато. Исходная заготовка помещается в рабочую зону (электролит) и обрабатывается до диаметра первой ступени. Затем заготовка выдвигается из втулки на длину второй ступени, а в ходе дальнейшей обработки формируются последующие ступени. С целью исключения описанной выше неравномерности съема в процессе обработки заготовка вращается относительно продольной оси. В работе проведены исследования влияния технологических параметров ЭПО на характеристики размерного съема материала.

Кроме того, в рамках выполнения задания № 3.18 ГПОФИ «Высокоэнергетические, ядерные и радиационные технологии» разработан способ ЭПО изделий сложной формы направленным потоком электролита без погружения изделия в ванну с электролитом. Этот способ позволяет производить избирательную обработку отдельных участков поверхности изделия и может быть использован для зачистки сварных швов тонкостенных изделий.

Зависимость ширины ферритной прослойки в образцах от содержания хрома в металле шва и времени выдержки

Голуцова Е.С., Жемойта А.В., Юревич С.В.

Белорусский национальный технический университет

При изготовлении сварных комбинированных конструкций качество изделий определяется не только отсутствием дефектов после сварки, но и возможностью образования диффузионных прослоек в зоне сварного соединения на этапе термической обработки и эксплуатации при высоких температурах.

Данное явление связано с диффузионным перераспределением углерода и приводит к снижению механических свойств сварных соединений и, следовательно, являться причиной преждевременного разрушения конструкций.

Диффузионные прослойки формируются в основном в процессе реактивной диффузии углерода в области сварного соединения с большим содержанием карбидообразующих элементов (в данном случае хрома). При этом у линии сплавления со стороны основного металла с меньшим содержанием хрома следует ожидать образование безуглеродной ферритной прослойки, а в металле шва – слоя повышенным содержанием карбидов хрома.

На основе методов теории вероятностей, математической статистики, математического планирования эксперимента установлены количественные связи между шириной ферритной и науглеродженной прослойки в образцах из сталей 12ХМ и 12Х13 после электронно-лучевой сварки от содержания хрома и времени выдержки при температурах 550 и 650 °С.

Анализ полученных уравнений показывает, что наибольшее влияние на ширину науглеродженной прослойки оказывает время выдержки, чем оно больше, тем шире прослойка. Увеличение ширины прослойки связано с исчерпанием карбидообразующего элемента у линии сплавления и образованием карбидов в более удаленных слоях металла шва.

Ковалевский В.Н., Жук А.Е.

Белорусский национальный технический университет

Выполнены исследования по созданию композита алмаз–SiC с нанесением оболочки на поверхность алмазного порошка для защиты его от графитации и введение дисперсного первичного SiC с целью получения мелкозернистой структуры композита. Для создания переходных зон использовали слоистые оболочки, наносимые на алмаз магнетронным распылением композиционных катодов (кремний – графит, алюминий). Послойное наноструктурирование оболочек достигалось обработкой слоев плазмой тлеющего разряда. Из полуфабрикатов пропиткой или реакционным спеканием при низком давлении получали КМ алмаз – SiC с наноструктурной зоной перехода между компонентами, которая обеспечивала возможность протекания сдвиговой деформации. Выявлены закономерности влияния режимов магнетронного распыления катода на температуру осаждения эмиттируемого потока из смеси атомов кремния и углерода и показано, что в режимах (напряжение $U=650\text{В}$, ток $I=2,5\text{А}$, давление $P=0,5\text{Па}$ и расстояние от катода до подложки $l=150\text{мм}$) в оболочках толщиной до 20нм обеспечиваются условия раздельного синтеза SiC, с формирования смеси Si+C с аморфной структурой на кристаллах алмаза, обладающих теплопроводностью до 600Вт м/К . Реакция $\text{Si}+\text{C}=\text{SiC}$ протекает под воздействием плазмы тлеющего разряда при отключенной магнитной системе в режимах ($U=1250\text{В}$, $I=0,10\text{А}$, время 300с , давление аргона $P=0,6\text{--}0,8\text{Па}$). Внедрение атомов алюминия в количестве $3\text{--}5\%$ в смесь атомов Si+C активирует процесс реакционного спекания и снижает температуру протекания реакции до $550\text{--}720^\circ\text{C}$ в оболочках толщиной $60\text{--}250\text{нм}$ за счет повышения степени дефектности гексагональной решетки $\alpha\text{-SiC}$ под воздействием атомов алюминия. Установлено, что сформированная структура, представляющая собой взаимно проникающие каркасы алмаза и SiC с переходными наноструктурными зонами позволяет получить КМ алмаз - SiC с повышенной вязкостью разрушения ($K_{IC} = 10 - 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0,5}$).

Технологические особенности получения слоистых многофункциональных покрытий

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Использование процесса реакционного спекания карбида кремния в твердой фазе реализуется для создания слоистых многофункциональных покрытий на микропорошки алмаза марки АСМ, порошки железа ПЖРВ и ферросплава ПХ30, меди, оксида алюминия, полиамида 6. Процесс протекает за счет реакции $Si + C = SiC$, которая относится эндотермическим процессам и идет с поглощением тепла. Процесс ведут в вакуумной камере МРС. Он характеризуется как низкотемпературный (70 – 90 °С). Для получения покрытия использовали композиционный катод кремний – углерод, алюминий. Установлено, что реакция протекает в диапазоне температур 530 – 870°С. В тонких (до 20 нм) покрытиях на кристаллах алмаза формируется аморфный SiC при обработке нанесенной смеси плазмой тлеющего разряда. Слоистое покрытие содержит на поверхности слой алюминия толщиной 20 нм, на поверхности которого на воздухе образуется защитный слой Al_2O_3 . Присутствие алюминия как в покрытии, так и в смеси атомов кремния и углерода обеспечивает связывание кислорода, находящегося в покрытии в оксид и предотвращает образование пористости в покрытии. Заслуживает внимания процесс реакционного спекания в покрытии под давлением, которое возникает при использовании в качестве материала подложки материал с высоким коэффициентом термического расширения при спекании в замкнутом объеме (прессформе). Для получения плавного перехода по твердости между частицами железа и карбида кремния на поверхность частиц наносится подслой из карбида или нитрида молибдена. Выявлены закономерности влияния режимов магнетронного распыления композиционного катода на адгезионную прочность покрытия с порошковой частицей. Установлено, что предварительная очистка поверхности обработкой плазмой тлеющего разряда обеспечивает требуемый уровень прочности.

Получение огнеупорных материалов и изделий в СВС-режиме

Волочко А.Т., Богинский Л.С.,

Саранцев В.В., Подболотов К.Б., Букато Н.Ю.

Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный технологический университет

Из большого количества используемых на данный момент огнеупорных материалов наиболее распространенными являются муллиты общего состава $x\text{SiO}_2\text{-}y\text{Al}_2\text{O}_3$, с массовым содержанием муллитовых форм на уровне 61-72 %. С практической точки зрения с целью получения разнообразных продуктов строительного назначения особое предпочтение получают смесевые СВС системы, содержащие в своем составе диоксид кремния, поскольку это вещество составляет основу большинства природных материалов и отходов стройиндустрии.

В работе в качестве исходного материала была использована смесь порошков диоксида кремния (речной песок), алюминия и сажи. Варьирование количественного состава исходных компонент $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{C}$ позволяет получать составы, состоящие из карбида кремния и оксида алюминия или $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ - муллита. Были проведены исследования по установлению влияния различной стехиометрии исходного порошкового состава на свойства конечного изделия.

Установлено, что наиболее подходящей в качестве кладочных растворов и обмазок при изготовлении или проведении ремонта тепловых агрегатов металлургического и коксохимического производства является смесь компонентов в весовом соотношении $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{C}=5/3/1$.

При получении изделий методом прессования с последующим СВС-спеканием из порошковых реагентов $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{C}$ наиболее подходящим является состав с соответственным соотношением компонент $5/4/1$. При использовании данного состава после СВС-спекания получаемое изделие обладает следующими характеристиками: плотность 2341 кг/м^3 , общая пористость 61,3 %, прочность при сжатии 35 – 40 МПа; фазовый состав представлен корундом, карбидом кремния и муллитом.

Структурообразование композиционных гетерогенных износостойких покрытий при электрохимическом осаждении из растворов суспензий-электролитов с керамическими наполнителями

Пантелеенко Ф.И., Авмочкин Д.Б., Боровик Д.И., Саранцев В.В.
Белорусский национальный технический университет

Рост потребности электрохимических методов производства связан с возможностью получения продуктов высокой чистоты на деталях различной степени сложности. Поэтому актуальным является установление закономерностей процессов структурообразования при электрохимическом осаждении.

Электрокристаллизация включает два основных этапа: электролиз и кристаллизацию. Последний в свою очередь имеет стадии нуклеации (образования кристаллических зародышей) рост образованных кристаллов, срастание кристаллов и коллективный рост кристаллов в осадке. Увеличение плотности тока при электрохимическом осаждении приводит к образованию трещин, что ограничивает увеличение производительности. Снижение количества трещин возможно при увеличении количества центров кристаллизации. Для увеличения количества центров кристаллизации было предложено вводить в электролит ультрадисперсный порошковый наполнитель.

Установлено, что в процессе железнения с порошковым наполнителем формируется гетерогенная мелкозернистая структура композиционных покрытий. Мелкие частицы шунгита в процессе формирования покрытия являются центрами кристаллизации, что позволяет по сравнению с традиционным железнением сформировать более плотную беспористую структуру и увеличить производительность осаждения покрытия за счет увеличения плотности тока (20-45 А/дм²).

Установлено что на границе электрохимическое покрытие – железная основа формируется тонкая переходная зона толщиной 3...11 мкм, что может являться косвенным подтверждением достаточно высокой прочности сцепления покрытия с основой.

**Влияние зоны перекрытия и толщины
мелкодисперсного слоя на проницаемость порошковых
фильтрующих материалов**

²Капцевич В.М., ¹Кусин Р.А., ³Хренов О.В., ²Корнеева В.К.,
¹Черняк И.Н., ¹Жегздринь Д.И.

¹Государственное научное учреждение «Институт порошковой
металлургии», ²Белорусский государственный аграрный
технический университет, ³Белорусский национальный
технический университет

В большинстве случаев практического применения порошковых фильтрующих материалов (ПФМ) проблема повышения их проницаемости при заданной тонкости очистки решается за счет создания двухслойных структур, один слой у которых изготовлен из мелкодисперсного порошка и имеет минимальные размеры пор и меньшую, как правило, в 2-3 раза, толщину по сравнению со вторым слоем (подложкой), изготовленным из крупнодисперсного порошка.

При получении двухслойных материалов путем совместного формования порошков разных фракций в области границы слоев более мелкие частицы порошка частично заполняют поровое пространство, образованное более крупными частицами, создавая, таким образом, промежуточный слой (зону перекрытия).

В настоящей работе сравнением расчетных и экспериментальных данных было установлено, что вследствие наличия этой зоны коэффициент проницаемости пористого материала снижается более чем в 1,46 раза. В ней также теоретически обосновано, что отрицательное влияние зоны перекрытия может быть снижено за счет уменьшения толщины мелкодисперсного слоя.

Расчеты, выполненные с использованием полученного выражения для расчета коэффициента проницаемости двухслойных ПФМ с учетом зоны перекрытия, позволили установить, что уменьшение толщины мелкодисперсного слоя в три раза приводит к увеличению проницаемости ПФМ на основе титана в 1,4 раза, а на основе меди в 1,8 раза.

Использование отходов нефтехимической промышленности в качестве модификатора для управление структурой отливок для белого чугуна

Комаров О.С., Урбанович Н.И., Волосатиков В.И.,
Комаров Д.О., Проворова И.Б., Иванченко В.А., Фёдоров А.Н.
Белорусский национальный технический университет

В практике литейного производства с целью совершенствования структуры и улучшения свойств литых заготовок широко используются модификаторы.

Наибольшее практическое применение для получения ковкого чугуна имеет комплексный модификатор, состоящий из Al, В, Вi. Бор и висмут являются дефицитными и дорогими металлами, это обстоятельство сдерживает их применение в составе комплексного модификатора.

Целью выполняемых исследований является изучение возможности замены дорогих металлов В и Вi более дешевыми соединениями, содержащимися в отходах нефтехимического производства в виде отработанных катализаторов.

Для проверки их модифицирующего действия в составе комплексного модификатора проведена опытная плавка на заводе отопительного оборудования. Сравнительный анализ изломов клиновидных проб, полученных из расплава, модифицированного только Al, (принятая на заводе практика) и модификатором, состоящим из Al и отходов, заменяющих металлический Вi и В показал, что только модифицирование комплексным модификатором позволило почти полностью ликвидировать включение первичного пластинчатого графита в пробах. Микроструктурный анализ образцов после из графитизирующего отжига позволил засвидетельствовать увеличение числа центров кристаллизации хлопьевидного графита образцов, полученных после введения комплексного модификатора.

Проведенные исследования показали, что для эффективного модифицирования можно использовать вторичные ресурсы, которые позволят не только снизить стоимость модификаторов, но и произвести рециклинг входящих в отходы соединений дорогих металлов в промышленный оборот.

Особенности строения, фазового и химического состава борсодержащих стальных и чугуновых порошков из отходов для восстановительно-упрочняющих технологий

Пантелеенко Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

В качестве исходных материалов при создании порошков для восстановительно-упрочняющих технологий были использованы отходы производства стальной и чугуновой дроби. Структура порошка из стали представляет собой мартенсит, чугунового порошка – белый доэвтектический чугун. После борирования в порошковой среде карбида бора в закрытом контейнере происходит увеличение массы и размеров частиц, а также шероховатости их поверхности. Чем больше время и температура борирования, тем толще плакирующий слой. Скорость ХТО зависит также и от размера борлируемых частиц. Для зависимостей борирования микрочастиц чугуна замечено наличие критической точки, после которой скорость борирования увеличивается. В процессе борирования углерод оттесняется бором вглубь частицы. Повышение концентрации углерода в центре частиц и высокая температура ХТО вызывает процесс графитизации. Углерод из цементита переходит в графит, что подтверждается микродюрметрическими исследованиями частиц после ХТО – с увеличением количества графитных включений микротвердость матрицы уменьшается. В стальных частицах с увеличением времени ХТО происходит переход от перлитно-ферритной структуры ядра к перлитной, а затем при достижении высокой концентрации углерода также происходит графитизация. Фазовый рентгеновский анализ показывает, что при борировании порошков на железной основе в течение малых промежутков времени (1 час) образуется однофазный боридный слой, состоящий из Fe_2B , а при увеличении продолжительности ХТО – двухфазный, состоящий из FeB и Fe_2B . Результаты ФРА подтверждаются и результатами микродюрметрического анализа.

Установлена возможность использования отходов производства дроби для создания самофлюсующихся порошков и износостойких покрытий из них.

Студент в управлении учебного процесса кафедры

Макаева Г.Г.

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» проводит работу по проблеме «Студент в управлении качеством учебного процесса кафедры», так как студент – это специалист на выходе и его оценка деятельности кафедры позволяет эффективно корректировать учебный процесс, повышать уровень качества образовательных услуг, что в итоге должно положительно отразиться на качестве выпускаемых специалистов.

Студенты оценивали деятельность кафедры через анонимное анкетирование, объектом которого является образовательный процесс на кафедре.

Анкета содержит около 30 вопросов. Это - чем основан выбор специальности; хочет ли он работать по специальности; планирует ли продолжать обучение после вуза, интересно ли учиться в университет; каково отношение к нему со стороны преподавателей, организация и содержание практик, лекционных и лабораторных занятий, контроль знаний и его виды, обеспеченность литературой по изучаемым предметам и др.

По результатам анкетирования кафедрой была проведена реорганизация процесса обучения: поиск новых баз практик, тщательный подбор руководителей со стороны места практики и согласование ее содержания; введен промежуточный контроль по ряду дисциплин, если студент получил оценку 8-10 - то результаты контрольных работ засчитываются в итоговую оценку; создана библиотека для студентов, которая сформирована из личных книг преподавателей и сотрудников кафедры.

В результате исследований кафедра планирует разработку модели оценки качества учебного процесса и системы управления качеством образования через обратную связь в цепочке «Студент – кафедра – работодатель».

Обработка материалов давлением

Экспериментальное исследование опережения при продольной прокатке полос переменной толщины

Исаевич Л.А., Сидоренко М.И., Иваницкий Д.М.,
Малекиан М.М.

Белорусский национальный технический университет

Предложен способ для экспериментального определения опережения при периодической прокатке полос в двухвалковом прокатном стане с валками 1, снабженном нажимным пневматическим цилиндром 2 и распорными пружинами сжатия 3, установленными между опорными подушками валков (рис. 1). Для моделирования горячей прокатки стали использована заготовка 4, отлитая из свинца марки СЗ ГОСТ 3778-98 с содержанием примесей около 0,01% и размещенная в рамке, состоящей из двух параллельных профилированных направляющих линеек 5, скрепленных между собой поперечной 6.

Для моделирования горячей прокатки стали использована заготовка 4, отлитая из свинца марки СЗ ГОСТ 3778-98 с содержанием примесей около 0,01% и размещенная в рамке, состоящей из двух параллельных профилированных направляющих линеек 5, скрепленных между собой поперечной 6. Для фиксации положения заготовки в рамке на конце направляющих линеек размещены два винта 7. За счет силового воздействия пневматического цилиндра 2 валки обжимают заготовку 4 до толщины, определяемой перемещающимися совместно с заготовкой направляющими линейками 5. Затем заготовку освобождают от рамки, вывинчивая винты 7, перемещают вдоль рамки на величину $\Delta l = l_0 - l_1$ и снова закрепляют этими же винтами. Величину обжатия заготовки можно определить по формуле $\Delta h = 2\Delta l \cdot \sin \beta$.

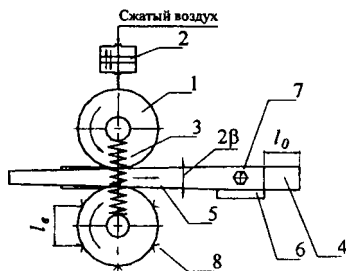


Рис. 1. Схема прокатки по профилированным линейкам

направляющих линеек 5, скрепленных между собой поперечной 6. Для фиксации положения заготовки в рамке на конце направляющих линеек размещены два винта 7. За счет силового воздействия пневматического цилиндра 2 валки обжимают заготовку 4 до толщины, определяемой перемещающимися совместно с заготовкой направляющими линейками 5. Затем заготовку освобождают от рамки, вывинчивая винты 7, перемещают вдоль рамки на величину $\Delta l = l_0 - l_1$ и снова закрепляют этими же винтами. Величину обжатия заготовки можно определить по формуле $\Delta h = 2\Delta l \cdot \sin \beta$.

После этого цикл прокатки повторяют и находят опережения, используя метод керновых меток и уравнение $S = (l_n - l_s) / l_s$. Полученные при этом результаты по опережению хорошо согласуются с известными расчетными данными.

Определение технологических параметров процесса формообразования фланца в трубных заготовках

Исаевич Л.А., Шиманский А.В.,
 Гуринович В.А., Сидоренко М.И.

Белорусский национальный технический университет

В статье рассматривается способ получения трубной заготовки с фланцем, перпендикулярным ее оси, без торообразного перехода от отверстия к фланцу. Это достигается локальной деформацией заготовки, имеющей торообразный переход, с использованием подпружиненной матрицы и ступенчатого пуансона, выполненного с конической полостью (рис.1).

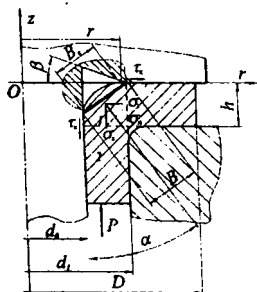


Рис.1 – Схема очага деформации

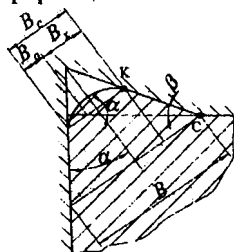


Рис.2 – Схема заполнения металла конической полости

При определении напряжения процесс деформирования будем рассматривать как открытую прошивку. Тогда можно записать:

$$\sigma_{n_p} = \sigma_T \left[\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) + \sqrt{2} \cos \frac{\beta}{2} \left(1,1 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{1}{2} \right) \right]$$

Напряжение, обеспечивающее заполнение металлом углубления в деформирующем инструменте для случая плоской деформации имеет вид:

$$\sigma_{n_y} = \beta \sigma_T \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) \left[\left(\frac{B}{B_c} \right)^\delta - 1 \right]$$

Приравняв $\sigma_{n_y} = \sigma_{n_p}$, найдем величину

$$B_c = B \sqrt[1/\delta]{ \left[\left\{ \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) + \sqrt{2} \cos \frac{\beta}{2} \left(1,1 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{1}{2} \right) \right\} / \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) + 1 \right] } }$$

Исходя из рис.2, параметр B_x определится как

$$B_x = (B - B_c) \left(\frac{1}{2 \sin^2 \alpha} - 1 \right). \text{ В свою очередь величина } B_0 = B_c - B_x.$$

Способ формообразования холодным пластическим деформированием режущих зубьев сегментов сельскохозяйственной техники

Король В.А., Иваницкий Д.М.

Белорусский национальный технический университет

Целью проведенных исследований являлась разработка технологии формообразования режущих зубьев на поверхности сегментов пластическим деформированием взамен фрезерования, с целью повышения их износостойкости и режущей способности.

На основании результатов исследований была усовершенствована конструкция сегмента. Угол наклона насечки к боковой грани с 73° у фрезерованных ножей уменьшен до 61° . Шаг между зубьями увеличен с 1,5 мм до 2,0 мм.

При теоретическом анализе формообразование рельефа в листовом материале рассматривали как процесс заполнения впадины деформирующего инструмента деформируемым металлом. Приближенная схема решения основана на усреднении напряжений в сечениях деформируемого листа и принятии упрощенного уравнения пластичности.

Выражение для определения усилия формообразования рельефа имеет вид
$$P = \frac{L\beta\sigma_T}{\sin\varphi} \frac{h_1}{\delta} \left[\left(\frac{h_0}{h_1} \right)^\delta - 1 \right].$$

В расчетах необходимо учитывать упрочнение металла, которое характеризуется напряжением текучести σ_S для любого момента деформации и определяется по формуле С.И. Губкина.

Учитывали также усилие осадки облоя
$$P_{обл.} = \sigma_S \frac{h_1}{f} \left(e^{\frac{\pi}{2h}} - 1 \right) a.$$

Усилие прижима заготовки определяли из выражения $P_{пр.} = 0,1 \cdot P_{полн.}$. Полное усилие формообразования зубьев на сегменте будет равно $P_{полн.} = P + P_{обл.} + P_{пр.}$.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать новую промышленную технологию. Формообразование режущих зубьев сегментных ножей пластическим деформированием повышает их стойкость в 1,5-2 раза за счет увеличения ширины режущей кромки и глубины режущих выступов.

**Исследование влияния степени рассогласования
окружных скоростей валков на силовые
параметры процесса продольной прокатки**

Карпицкий В.С., Карпицкий Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс симметричной продольной прокатки сопровождается высокими давлениями металла на валки в очаге деформации, вследствие чего не обеспечивается требуемая точность размеров и качество проката.

Одним из реальных и эффективных путей решения указанной проблемы является применение метода несимметричной прокатки с принудительным рассогласованием окружных скоростей валков. Данный метод позволяет в широких пределах изменить схему напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации и дает возможность при определенных значениях кинематических и технологических параметров осуществлять процесс прокатки при более низких распорных давлениях металла на валки.

Выполнено теоретическое обоснование способа несимметричной прокатки с критическим рассогласованием окружных скоростей валков, получены теоретические зависимости для определения коэффициента критического рассогласования окружных скоростей валков и силовых параметров несимметричной прокатки.

Теоретически проанализировано влияние основных параметров (радиуса валков, исходной толщины полосы, коэффициента контактного трения, коэффициента рассогласования окружных скоростей валков, и др.) на величину нормальных контактных напряжений при несимметричной прокатке в сравнении с процессом симметричной прокатки.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические предпосылки предложенной схемы несимметричной прокатки и возможность осуществления процесса при заданных кинематических и технологических параметрах без приложения растягивающих напряжений к концам прокатываемой полосы и при более низких значениях давления прокатки (до 40%) по сравнению с симметричной прокаткой.

Разработка способа и технологии изготовления трубчатых изделий малого диаметра из ленты

Логачев М.В., Карпицкий В.С.

Белорусский национальный технический университет

Длинномерные трубчатые изделия малого диаметра (капиллярные трубы с внутренним диаметром 0.1 – 1.5 мм) находят широкое применение в приборостроении в качестве дозаторов и дистанционных датчиков температуры, радиаторов охлаждения приборов, в медицине в качестве наконечников шприцев и в других отраслях промышленности. Однако следует отметить, что существующие способы получения трубок малого диаметра характеризуются длительностью и сложностью маршрута изготовления, во многих случаях с применением промежуточной термообработки.

Разработанная технологическая схема получения длинномерных трубчатых изделий малого диаметра из ленты, включающая гибку (свертку) плоской заготовки в трубку, редуцирование ее и калибровку, реализована в предлагаемом комбинированном способе формообразования трубок из ленты путем одновременной свертки и волочения через одну или несколько волок.

Свертка исходной заготовки (ленты) осуществляется на входном участке обжимающей части волокна, протяженность которой зависит от диаметра трубки и составляет не менее $2/3$ ее длины. После того как трубка сформируется, происходит ее безправочное редуцирование с определенной степенью деформации, обеспечивающей качественное стыковое соединение за счет пластического деформирования сдвигом и дополнительным локальным воздействием в очаге деформации.

Выполнено теоретическое обоснование предложенной схемы изготовления капиллярных трубчатых изделий из ленты, определены теоретические зависимости технологических параметров процесса.

Результаты экспериментальных исследований показали возможность получения длинномерных трубчатых изделий малого диаметра из ленты при хорошем качестве стыкового соединения.

Обоснование конструкторско-технологических параметров измельчения твердых тел в валковых мельницах

Ложечников Е.Б., Гавриленя А.К., Ласанкин С.В.
Белорусский национальный технический университет

Цель работы – методика определения конструкторско-технологических параметров, необходимых при проектировании валковых мельниц, предназначенных для измельчения кусковых и сыпучих материалов.

Попадая в межвалковое пространство, кусковый материал захватывается встречно вращающимися валками, деформируются и разрушаются на мелкие куски-частицы порошка, которые уплотняются в куски полос толщиной $h_d \leq 0,012 D_v$ (D_v – диаметр валков). При уплотнении сыпучего материала валками в результате силового воздействия частиц между собой происходит их дробление.

Совместным решением математического описания критерия прочности Мора-Кулона и условий пластичности материала частиц Сен-Венана-Генки получены значения среднего и большего главного напряжений в обрабатываемом давлением порошка, обеспечивающие дробление его частиц:

$$\sigma = (\sigma_g - 2c \cos \varphi) \nu_\sigma / 2 \sin \varphi \quad \text{и} \quad \sigma_1 = \sigma(1 + \sin \varphi) - c / \operatorname{tg} \varphi$$

(σ_g – предел прочности, φ и c – угол межчастичного трения и сцепления частиц; ν_σ – относительная плотность порошка в межвалковом пространстве, определяемая экспериментально и описываемая выражением $\nu_\sigma = \nu_i + \kappa \sigma_1^m$ (ν_i – насыпная плотность порошка, κ и m – параметры, зависящие от свойств материала частиц и условий процесса).

Исходя из изложенного и полученной экспериментально гиперболической зависимости $h_d \nu_g = C \approx \text{const}$ (C – параметр, зависящий от свойств порошка, диаметра валков, скорости и направления прокатки) разработан алгоритм расчета и выбора технологических параметров процесса, действующих на валки сил и мощности их привода, по которым проводятся кинематические и прочностные расчеты валковых мельниц.

Влияние разнотолщинности прокатываемого металла и жесткости рабочей клетки прокатного стана на точность прокатанных заготовок по толщине

Кудин М.В., Ложечников Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Толщина проката h рассматривается как сумма установочного раствора h_0 валков и его увеличение h_y под действием упруго расширяющих валки сил P , $h = h_0 + h_y = h_0 + P/J$, где J – установленная экспериментально жесткость рабочей клетки стана. Проведенные эксперименты горячей прокатки клиновидных образцов цинка (метод И.М. Павлова) показали, что с увеличением толщины образца, а следовательно угла его захвата и усилий на валки, толщина проката возрастает с нелинейно уменьшающейся интенсивностью и по достижению определенной величины – в близких к линейной. Нелинейное, интенсивное изменение толщины проката обусловлено непостоянной жесткостью рабочей клетки, состоящей из воспринимающих нагрузку деталей разной жесткости и сопрягаемых поверхностей. Очевидно, что проводить прокатку в таком силовом режиме нецелесообразно.

Для прогнозирования точности по толщине проката при условии $J \approx \text{const}$ входные параметры сведены к количественному – разнотолщинности исходной заготовки $dH = H_{\max} - H_{\min}$ и качественному – фактическому сопротивлению деформации металла $\sigma_t = \sigma_{t0} \exp(n_t \Delta t)$, где Δt – отклонение от номинальной температуры заготовки, которой соответствует σ_{t0} , n_t – устанавливаемый экспериментально параметр.

Погрешность обработки (разнотолщинность проката) выразили в виде дифференциального уравнения в частных производных $dh = dP/J = ((\partial P/\partial \alpha)d\alpha + (\partial P/\partial \sigma)d\sigma)/J$, в которое подставили значения дифференциалов и производных вышеприведенных выражений: $\partial P/\partial \alpha = n_\sigma \gamma b R \sigma_t$; $\partial P/\partial \sigma = n_\sigma \gamma b R \alpha$;

$d\alpha = dH/2\sqrt{R\Delta H}$; $d\sigma = n_t \sigma_{t0} e^{n_t \Delta t} dt$. Из полученной в результате преобразований математической модели вытекает согласуемое с экспериментами заключение: наследственная разнотолщинность уменьшается с увеличением обжатия за проход и при уменьшении толщины и температуры заготовки, либо при их увеличении.

Математическая модель электроразрядного спекания пористых порошковых материалов

Белявин К.Е., Гафо Ю.Н., Минько Д.В., Решетников Н.В.
Белорусский национальный технический университет

Работа посвящена разработке математической модели процесса упрочнения пористых порошковых материалов, основанного на методе электроразрядного спекания (ЭРС) и связанного с неоднородным распределением тепловой энергии, выделяемой при прохождении электрического тока по объему частиц порошка и ростом контактных шеек за счет выделившегося тепла в межчастичных контактах. Для управления процессом ЭРС установлены зависимости между затрачиваемой тепловой энергией, распределением температур в пористом материале при ЭРС и прочностью получаемого пористого материала.

При разработке модели принимали, что прочность пористого материала зависит от размеров межчастичных контактов, процесс формирования контакта между частицами порошка сферической формы зависит от напряжений σ , создаваемых в зоне контакта прижимающей силой F электродов, и проходит по механизму пластично-вязкого течения. Пористый материал считали неограниченной пластиной, находящейся в контакте с электродами. Потери тепла на боковой поверхности пористого материала, не находящегося в контакте с электродами не учитывали.

Для определения закономерностей упрочнения при ЭРС контактов между частицами порошка, рассчитана кинетика их изменения в температурном поля пористого материала путем решения задачи о нестационарной теплопроводности с граничными условиями третьего рода в контактных зонах «электрод - пористое тело» и второго рода на границе «пористое тело - защитная атмосфера».

Результатом решения задачи являются функциональные зависимости и уравнения для расчета кинетики упрочнения, позволяющие определить величину прочности пористого порошкового материала с учетом физико-механических свойств, входящих в него частиц порошка, а также мощности и длительности процесса ЭРС.

**Получения свинца при гальваническом разделении
свинцесодержащего сырья и электроконтактном
компактировании**

Кузьмич В.В., Кузнечик О.О., Кошпаво Б.Л.

Белорусский национальный технический университет

Получение свинца из свинцесодержащих отходов является актуальной задачей для перерабатывающей промышленности. Эта задача может решаться методами порошковой металлургии, в основе которых лежат гальваническое разделение свинцесодержащего сырья, являющегося продуктом взаимодействия со щелочной средой оксидов, сульфитов и сульфатов свинца. Выделение из этого сырья черных осадков и их электроконтактное компактирование. В связи с этим введены исследования следующих процессов: гальванического разделения в щелочной (натриевой) среде полученного из аккумуляторного лома свинцесодержащего сырья; выделения из него черных осадков и электроконтактного компактирования.

Установлено:

- результатом гальванического разделения свинцесодержащего сырья, получаемого после взаимодействия сульфитов, сульфатов и оксидов свинца с раствором едкого натра, являются черные осадки, представляющие собой пластичные конгломераты, состоящие из мелкодисперсного свинцового порошка, частицы которого соединяются между собой капиллярными силами, создаваемыми остатками электролита;

- процесс гальванического разделения свинцесодержащего сырья имеет три стадии протекания: начальную (скорость выделения черных осадков ~ 10 - 15 г/мин), промежуточную (~ 1 - 5 г/мин) и истощенную (свинец не выделяется.);

- концентрация свинца на начальном этапе исследуемого процесса составляет 55% от общей массы, а на истощенном - 21%);

- выделенные при гальваническом разделении свинцесодержащего сырья черные осадки свинца поддаются в воздушной атмосфере электроконтактному уплотнению до тех пор, пока на поверхности частиц порошка, входящих в конгломерат не образуется окисная пленка.

Исследование процесса селективного лазерного спекания

Белявин К.Е., Минько Д.В., Быков Р.П., Кузнечик О.О.
Белорусский национальный технический университет

Селективное лазерное спекание (СЛС) относится к инновационным технологиям порошковой металлургии, позволяющим получать пористые изделия со сложной геометрией поверхности. Технология СЛС основана на использовании энергии лазерного излучения для последовательного послойного спекания частиц порошка посредством оплавления их поверхности, что приводит к образованию металлических контактов в присутствии жидкой фазы.

Для определения устойчивого состояния жидкой фазы в зоне межчастичного контактообразования при импульсно-периодическом лазерном воздействии разработана математическая модель, в основе которой лежит решение задачи об устойчивости жидкометаллического столба при внешнем воздействии. С помощью модели исследован процесс СЛС мелкодисперсных порошков титана с частицами порошка сферической формы.

Установлено:

- на устойчивость жидкометаллических контактов при СЛС влияют материал и размер частиц порошка, а также диаметр, мощность и длительность импульса лазерного излучения;
- для сферических порошков титана с диаметром частиц 1 – 1000 мкм критическое значение мощности импульса лазерного излучения превышает в два раза значение, при котором на поверхности частиц порошка образуется жидкометаллическая фаза;
- при критических значениях мощности импульса лазерного излучения устойчивость жидкометаллических контактов нарушается;
- для сферических порошков титана с диаметром частиц 1 – 1000 мкм критическое значение мощности при увеличении диаметра лазерного излучения от 500 нм до 1 мм может возрасти в 4 раза, а при увеличении длительности импульса лазерного излучения, наоборот, уменьшится в 5 – 6 раз;
- на режимах, обеспечивающих устойчивость жидкометаллических контактов при СЛС, возможно получение порошковых материалов и покрытий с пористостью ~ 30 – 35 %.

Разработка технологии термопластической обработки ножей кормоуборочной техники

Давидович А.Н., Мазуренок А.В., Давидович Л.М., Шиманович О.А.
Белорусский национальный технический университет

В докладе были представлены результаты, полученные при разработке технологии термомеханического упрочнения лезвий ножей роторной косилки. Данные ножи представляют собой пластину размером 4x50x145мм из стали 40Х, заостренную с двух сторон под углом 25 градусов.

С целью исключения механической обработки при изготовлении ножей была разработана установка для горячего формообразования режущих кромок. Заготовку прокатывали на специальном оборудовании при помощи конических валков и формовали при этом оба лезвия ножа. Сформованная заготовка ножа немедленно погружалась в масляную ванну. После закалки производили низкотемпературный отпуск для снятия остаточных напряжений.

После такой термопластической обработки нож разрезали в поперечном направлении, измеряли твердость по Роквеллу, исследовали микроструктуру. Распределение твердости по сечению ножей неравномерное. Верхняя часть ножа имеет значение твердости 52-54HRC, нижняя часть, в которой находятся заостренные лезвия, – 47-49HRC. Неоднородное распределение твердости связано с неоднородным распределением температуры по толщине ножа. Температура верхней части ножа перед прокаткой оказалась на 20-30°C выше, чем нижней.

Следует отметить, что микроструктура верхней части ножа в центре – крупнозернистый мартенсит; нижней части – мартенсит с частицами нерастворившегося феррита. Присутствие частиц нерастворившегося феррита особенно заметно на нижних заостренных кромках ножа, которые претерпели горячую деформацию. Таким образом, можно констатировать, что при пониженной температуре деформации твердость режущих кромок ножа оказалась ниже и составляет 47-49HRC. Для ножей, подвергаемым в процессе эксплуатации динамическим нагрузкам, подобное распределение твердости является наиболее оптимальным.

Исследование особенностей формообразования стоек культиваторов с термофиксацией

Давидович А.Н., Шиманович И.М. Давидович Л.М.
Белорусский национальный технический университет

Особенности конструкции стойки, требуют осуществления ряда последовательных сложных технологических приемов формообразования и термомеханической обработки для обеспечения точности размеров изделия и высоких эксплуатационных характеристик материала при сочетании высокой прочности и ударной вязкости.

Для реализации комплекса технологических приемов, разработано оборудование, позволяющее изготовить изделие, со скальпированием обезуглероженного слоя в наиболее нагруженной его монтажной части.

При разработке техпроцесса в качестве заготовки используют полосу 1140×32×10 мм из стали 55С2А. Заготовку нагревают в индукторе до температуры 600±50°С. Затем формуют квадратное отверстие с фаской. После операции формовки отверстия заготовку догревают в индукторе до температуры 1100±50°С. Пластическое формообразование изделия осуществляют на оригинальной автоматизированной установке.

На первом переходе производится формование V-образного профиля на длине 370мм. На втором переходе локально из V-образного формуется U-образный профиль плющением. На третьем переходе навивается пружинная часть стойки по копиру со скальпированием обезуглероженного слоя и, наконец, на четвертом переходе, пуансоном формуется С-образный участок стойки.

Для получения необходимых механических характеристик и точности размеров изделия его охлаждают в зафиксированном виде в охлаждающей жидкой среде, непосредственно в самой установке для формообразования.

Проведенные исследования показали, что изготовленные по данной технологии изделия имеют высокие механические характеристики – предел прочности $\sigma_b=1900-2100$ МПа, ударную вязкость $a_n=80-100$ кДж/м².

**Обоснование возможности силовой интенсификации
комбинированных процессов листовой штамповки**

Любимов В.И.

Белорусский национальный технический университет

Сокращение длительности и трудоемкости технологических процессов листовой штамповки, представляющих собой ряд последовательно выполняемых элементарных операций и требующих соответствующего количества штампового инструмента и штамповочного оборудования, может быть достигнуто за счет увеличения допустимой степени формоизменения за одну операцию (перехода).

В настоящее время операции листовой штамповки хорошо изучены. Разработан и используется в производстве целый ряд способов интенсификации формоизменяющих операций. Проведенный анализ показал, что существенно интенсифицировать технологические процессы листовой штамповки можно за счет силовой интенсификации двух или более совместно выполняемых элементарных операций.

Предпосылкой для постановки такой задачи являются ранее проведенные исследования процесса комбинированной вытяжки, представляющего собой сочетание двух способов вытяжки: вытяжки без принудительного утонения и вытяжки с принудительным утонением стенки вытягиваемого изделия, которые убедительно продемонстрировали перспективность такого направления интенсификации.

При определенном сочетании двух или более совместно выполняемых операций в результате взаимного силового влияния очагов деформации можно создать более благоприятные условия для формоизменения заготовки, позволяющие существенно интенсифицировать процесс формоизменения.

Силовая интенсификация, осуществляемая при совместном выполнении нескольких операций, является весьма перспективной, так как позволяет достичь большего формоизменения заготовки, чем при последовательном выполнении этих операций с максимальными степенями деформации.

**Анализ комбинированного процесса
листовой штамповки «вытяжка—обжим»**

Любимов В.И.

Белорусский национальный технический университет

Основным фактором, лимитирующим предельную степень деформации при вытяжке без утонения, является локализация пластической деформации, которая приводит к отрыву дна частично вытянутой детали. Увеличение допустимой степени деформации при вытяжке возможно за счет уменьшения нагрузки «опасного сечения», т.е. уменьшения меридиональных растягивающих напряжений.

Допустимое формоизменение заготовки при обжиге обычно ограничивается не разрушением заготовки, а потерей ее устойчивости в результате образования продольных складок в очаге деформации под действием тангенциальных сжимающих напряжений или образования кольцевой складки в цилиндрической недеформируемой части заготовки под действием меридиональных сжимающих напряжений. Увеличение допустимой степени формоизменения при обжиге может быть достигнуто путем ограничения возможности потери устойчивости заготовки.

При совместном выполнении операций вытяжки и обжима меридиональные напряжения в общем очаге деформации переходят от растягивающих в зоне вытяжки к сжимающим в зоне обжима. Зона с нулевыми меридиональными напряжениями является переходной и разграничивает очаги деформации вытяжки и обжима. Следствием взаимного влияния очагов деформации является уменьшение меридиональных напряжений (растягивающих в очаге деформации вытяжки и сжимающих в очаге деформации обжима). В результате создается возможность дополнительного увеличения степени формоизменения в очагах деформации вытяжки и обжима. При этом общая предельно допустимая степень формоизменения комбинированного процесса будет превышать суммарную степень формоизменения, определяемую на основании предельно допустимых степеней деформации для отдельно выполняемых операций.

Влияние условий деформирования на эксплуатационные параметры изделий, получаемых методом скоростного горячего выдавливания с плакированием торцовой части*

Шарий В. Н.

Белорусский национальный технический университет

При изучении этого вопроса устанавливалось влияние условий деформирования на такие показатели механических свойств как микротвердость шовной и околошовной зон, твердость и предел прочности на растяжение.

Для проведения исследований были выбраны труднодеформируемые, малопластичные, отличающиеся по прочности и плотности, различные стали, широко используемые в сфере инструментального производства, а также в общем машиностроении.

В качестве материала основы использовались качественная конструкционная сталь 45 (ГОСТ 1050) и легированная конструкционная сталь 40X (ГОСТ 4543). В качестве плакирующего слоя были выбраны штампо-инструментальные стали 5ХНМ, 5ХЗВЗМФС, 9ХС, Х12М (ГОСТ 5950), У10А (ГОСТ 1435).

Реализуется такой способ по схеме прямого истечения материала в очко матрицы с последующим радиальным истечением в облойную канавку, выполненную в матрице на высоте от донной части равной толщине плакирующей пластины.

Таким образом, степень пластической деформации – один из важнейших факторов, от которых зависит качество схватывания металлов и сплавов в процессе СГВ с ПТЧ.

Установлено влияние скорости пуансона на величину максимальной деформации на выдавленном торце

Получена зависимость изменения микротвердости по длине стержневой части образца, выдавленного с различной скоростью соударения его торцовой части с дном матричной полости.

Определено влияние условий деформирования на такие показатели механических свойств как микротвердость шовной и околошовной зон, а также влияние вытяжки λ на показатели деформированного состояния ($\text{tg } \gamma$, ϵ) и величину «расслоения по шву».

**Работа выполнялась под руководством доктора технических наук Качанова И.В.*

**Увеличение точности изготовления деталей при
использовании штампов с упорами
на КГШП и винтовых прессах**

Овчинников П.С.

Белорусский национальный технический университет

В современном производстве для штамповки различных сложных деталей используются винтовые прессы и КГШП.

При штамповке на прессах высота изделий получается разной из-за различной величины недохода ползуна до крайнего нижнего положения. Этот недоход связан с жесткостью прессы и штампа. При нагружении прессы во время рабочего хода сжимаются штамп, ползун, шатун, изгибается кривошипный вал, растягиваются стяжные шпильки станины. Перечисленные деформации приводят к недоходу ползуна до крайнего нижнего положения. Эти деформации прямопропорциональны усилию, приложенному к ползуну, т.е. усилию штамповки. Если бы усилие деформации при штамповке было постоянным, одинаковым был бы недоход ползуна, а значит и высота изготавливаемых штамповкой деталей была бы постоянной. Но усилие деформации при штамповке одной партии деталей колеблется из-за различной прочности заготовок, температуры их нагрева и колебания диаметра прутка в пределах допуска. При штамповке на КГШП номинальным усилием 80МН это колебание составило 11,5 % от номинального усилия прессы.

При штамповке на винтовых прессах ползун останавливается в крайнем нижнем положении при полностью израсходованной запасенной кинетической энергии подвижных частей. В связи с этим штамповать на винтовых прессах можно до упоров, установленных в штампах. В этих случаях высота штампованных деталей получается одинаковой.

Суммарную площадь упоров определим из условия, что давление их на штамповые плиты будет находиться в пределах упругости. Усилие, воспринимаемое упорами, должно компенсировать колебание усилия деформации.

Высоту упоров определим исходя из того, что уменьшение ее должно находиться в пределах величины допуска на высоту поковки.

Овчинников П.С., Кудин М.В.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании кривошипных валов кузнечно-прессовых машин используется следующий подход. По эмпирическим формулам в зависимости от типа вала и номинального усилия машины определяют диаметр коренной цапфы, другие размеры кривошипного вала принимаются в зависимости от этого диаметра. Затем рассчитывается усилие, допускаемое прочностью вала с принятыми размерами и при недостаточно хорошем соответствии рассчитанного усилия номинальному производим корректировку размеров вала. Недостаток такой методики состоит не только в том, что расчет приходится повторять, но и в том, что размеры вала принимаются в зависимости от одного диаметра, а не от необходимой прочности его. После указанных расчетов проверяют давление в подшипниках коренных и кривошипных цапф, при несоответствии величины этих давлений допускаемым увеличивают длину этих цапф, что изменяет величину изгибающих моментов и уменьшает усилие, допускаемое прочностью вала.

Здесь предлагается способ проектирования кривошипных валов всех видов с использованием ЭВМ. Исходными данными являются номинальное усилие P_n , тип вала, величина хода ползуна и механические свойства материала. Приблизительно принимается размер диаметра цапфы в расчетном сечении вала, а затем определяют длины цапф, исходя из прочности подшипников. В расчетных блоках находят приведенное плечо крутящего и изгибающего момента и усилия, допускаемые прочностью вала. В последующих блоках программы определяют оптимальные размеры вала. Логика расчета состоит в последовательном изменении диаметров коренных и кривошипных цапф вала и расчет для каждого значения длин цапф приведенных плеч крутящего и изгибающих моментов, усилия, допускаемого прочностью вала. Цикл завершается тогда, когда достигается соответствие рассчитанного усилия и номинального.

Таким образом, при использовании данной методики определяются размеры вала, обеспечивающие необходимую прочность при минимальной металлоемкости.

Ультразвуковое упрочнение упругих элементов

Клубович В.В., Томило В.А., Хрущев Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Плоские упругие элементы широко применяются в автомобильной и сельскохозяйственной технике. Прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, долговечность и надежность определяются состоянием слоя, с которого обычно начинается разрушение материалов.

Отделочно-упрочняющая обработка ПИД с наложением ультразвуковых колебаний позволяет уменьшить высоту микронеровностей и создает в поверхностных слоях благоприятную эпюру остаточных сжимающих напряжений.

Метод ультразвуковой ударной обработки поверхности может быть реализован в двух вариантах: связанными (имеющими одну степень свободы перемещения) деформирующими элементами и свободными рабочими телами.

Результаты ультразвуковой обработки показали, что упрочнение поверхности образцов имело место при амплитудах колебаний излучателя, превышающих определенный уровень. Степень упрочнения возрастала с увеличением амплитуды колебаний излучателя. Эффект начинал проявляться при времени обработки свыше 30 с. Максимальная степень упрочнения наблюдалась при времени обработки 360 с, затем степень упрочнения уменьшалась.

Анализируя полученные результаты по влиянию ультразвуковых и технологических параметров процесса на степень поверхностного упрочнения, можно с достаточным основанием предположить, что она будет определяться тремя факторами: силой удара шарика об образец, продолжительностью обработки и природой обрабатываемого материала (модулем упругости и его прочностными характеристиками).

Ультразвуковая ударная обработка приводит к существенному повышению плотности дислокаций и как следствие, увеличению твердости, дроблению кристаллов на фрагменты и блоки до наноразмерного уровня в поверхностном слое толщиной 2-3 мкм.

**Создание нанокристаллических структур методом
пластического деформирования с наложением мощных
ультразвуковых колебаний**

Клубович В.В., Хрущев Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Для получения наноразмерной текстуры необходимо обеспечение резонансных ударных режимов при значительных усилиях прижима. Нелинейные эффекты, возникающие при этом, затрудняют настройку системы в режиме вынужденных колебаний. Вместе с тем резонансные ударные режимы могут быть получены при автоколебательной схеме возбуждения, осуществляемой цепью с запаздывающей обратной связи. Разработана схема стенда для экспериментальных исследований, в которой напряжение питания обмоток магнитоотрицателя формируется усилителем, имеющим релейную характеристику и преобразующим сигнал, пропорциональный напряжению какого-либо элемента колебательной системы. Такой сигнал снимался с датчика, предварительно усиливался усилителем, затем проходил через звено запаздывания и подавался на усилитель. Изменяя уровень насыщения усилителя и время запаздывания, можно регулировать амплитуду и частоту колебаний. При заранее установленной необходимой величине времени запаздывания система самовозбуждается и выходит на резонансный ударный режим, соответствующий заданной силе поджатия без какой-либо дополнительной подстройки.

Основой стенда является "силонечувствительная" опора. Она состоит из втулки, имеющей длину, равную половине длины ультразвуковой волны, одним концом жесткосоединенной с концентратором колебаний в пучности смещений. Другой конец втулки свободен.

Установлено, что УЗО приводит к кардинальным изменениям структуры поверхности и приповерхностных слоев. Под воздействием УЗО происходит дробление и перераспределение структуры материала на определенную глубину зависящую от множества факторов, с образованием микро- и наноструктур, а это в свою очередь обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик изделий.

Упругие элементы почвообрабатывающей техники

Томило В.А., Сушко И.С., Казак М.М., Марусич В.И.
Белорусский национальный технический университет,
РУП «Минский завод шестерен»

Минский завод шестерен выпускает широкую гамму почвообрабатывающей техники, в том числе плуги различных типов. Для защиты рабочих органов при наезде на имеющиеся в почве инородные предметы (камни, пни и др.) почвообрабатывающие машины оснащены предохранительными механизмами преимущественно с плоскими пружинами.

В настоящее время плоские пружины изготавливают из прокатанного штрипса рессорно-пружинных сталей 50ХГФА, 60С2, 65Г и др. Попытки изготовить плоскую пружину из листа успеха не имели. Микродефекты структуры возникающие на боковой кромке листа при рубке приводили к очень быстрому его разрушению.

Как показывает опыт автомобилестроения, многолистовая рессора из листов постоянного профиля может быть с успехом заменена на малолистовую из листов переменной толщины. При этом ее эксплуатационные характеристики не изменяются, а вес снижается на 25...35%.

Для определения профиля плоского защитного элемента переменного сечения применен метод конечных элементов.

Результаты математического моделирования позволяют утверждать, что требованиям к прочности и жесткости в осевом направлении до 90 мм наиболее точно соответствуют два установленных параллельно листа шириной 60...65 мм и толщиной 7...8 мм в центральной части и 3,5...4,0 на концах. Защитный элемент такой конструкции с успехом может быть использован для обработки «легких» почв с небольшим содержанием инородных предметов.

При обработке каменистых почв больше подойдет черырелистовой защитный элемент, допускающий осевую деформацию до 140 мм. Стендовые испытания подтвердили полученные результаты.

Материаловедение в машиностроении

Анализ применения химико-термической обработки для упрочнения режущих элементов плугов

Константинов В.М., Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Долото – это рабочая часть корпуса плуга, которая служит для подрезания пласта почвы ее подъема и направления на отвал. Данная деталь является тяжело-нагруженной и в процессе эксплуатации подвергается ударным нагрузкам, абразивному изнашиванию и химическому воздействию окружающей среды. Для изготовления частей корпуса плуга применяются, конструкционные стали, типа 65Г. В основном детали получают методом штамповки из листового металла, а затем подвергают традиционному способу термической обработки, который заключается в закалке и среднем отпуске. В результате обработки деталь обладает достаточной ударной вязкостью благодаря структуре троостита в сердцевине. Но так как твердость на поверхности 50...45 HRC и структура троостита, то износостойкость получается неудовлетворительная. Ресурс деталей после такой обработки составляет в среднем на твердых почвах от 0,3 мм/км пути или 20 га вспаханной земли, что в 2 – 2,5 ниже западных аналогов, например фирмы Rabewerk.

Для повышения ресурса эксплуатации долот необходимо решить задачу о повышении твердости поверхности режущей части и сохранение ударной вязкости сердцевины. Одним из решений является поверхностная химико-термическая обработка и последующая термообработка. Для сравнения стандартной технологии упрочнения деталей и предложенной, была изготовлена пробная партия. Долота подвергли нитроцементации в порошковой среде и закалке с отпуском. Твердость на поверхности составила 60 – 55 HRC, структура легированного мартенсита отпуска на поверхности и в сердцевине троостита. Далее проведены полевые испытания в СПК «Валевачи» в ходе, которых было вспахано восьмикорпусным плугом 100 – 120 га минеральных почв (чернозем с песком). Ресурс эксплуатации больше в 1,8 раза, чем у деталей упрочненных по заводской технологии.

Работа выполнена совместно с заведующей НИЛУСИ НИЧ БНТУ Кухаревой Н.Г.

Экспериментальные и теоретические исследования влияния энергосберегающих режимов термической обработки на структуру и механические свойства среднеуглеродистых сталей

Константинов В.М., Стрижевская Т.Н.
Белорусский национальный технический университет

Анализ тенденций развития энергосберегающих технологий термической обработки позволил классифицировать проводимые в настоящее время мероприятия по энергосбережению следующим образом: создание нового энергосберегающего термического оборудования; реконструкция отслужившего свой срок термического оборудования; энергосберегающая оптимизация режимов и технологий термической обработки.

Невозможность замены всего парка печей на новый в первую требует проведения реконструкции отслужившего свой срок термического оборудования. Реконструкция предполагает два основных варианта: полная реконструкция; частичная реконструкция. При модернизации уменьшаются потери энергии в уже действующем оборудовании, но не изменяются сами принципы технологии и техники.

В процессах термической обработки используется длительная выдержка детали при высоких температурах. Эта выдержка необходима для полного протекания фазовых превращений, гомогенизации твердого раствора. В результате проведенного исследования влияния уменьшения времени выдержки при закалке получены следующие результаты: толщина закаленного слоя после различных режимов закалки (время выдержки 30, 25, 20 мин.) составляет 10-12 мм, микроструктура состоит из мартенсита с твердостью 57,2 HRC. Сердцевина состоит из мартенсита и троостита с твердостью 50-45 HRC. Исходя из этого можно предположить, что при сокращении времени выдержки с 30 до 20 минут образцы по всему сечению при температуре закалки 840 °С в структуре имели 100% аустенит. Это свидетельствует о возможном сокращении времени выдержки для среднеуглеродистых сталей небольших размеров и простой конфигурации, которая может дать экономию энергоресурсов на 10 -15 %.

**Повышение эксплуатационной стойкости оснастки
и инструмента, используемого при производстве
строительных материалов, методами
термодиффузионной обработки**

Кухарева Н.Г., Басалай И.А., Петрович С.Н., Стасевич Г.В.
Белорусский национальный технический университет

Работоспособность оснастки и инструмента определяется физико-химическими и механическими свойствами их поверхности, поэтому создание износостойких покрытий методами поверхностной обработки является актуальным. Для упрочнения форм прессования, шнеков, пустото- и пазообразователей, лопаток смесителей при производстве кирпича использовано борирование; деревообрабатывающего инструмента - карбидизация; для повышения стойкости литейных форм при производстве Al-ых и ПВХ-профилей-карбонитрация.

Использование разработанных порошковых сред позволяет получить на низкоуглеродистых сталях однофазные и двухфазные боридные слои, легированные хромом (до 0,5%) и цирконием (до 0,2%) толщиной до 300 и 500 мкм соответственно; наиболее высокой твердостью (до 2200 кг/мм²) обладают двухфазные боридные покрытия; при испытаниях на износостойкость в условиях трения скольжения при низких скоростях наибольшая стойкость наблюдалась у однофазных боридных покрытий, а при высоких скоростях – у двухфазных.

При низкотемпературной карбонитрации ($T=500^{\circ}\text{C}$, $\tau=4$ ч) толщина диффузионного слоя на стали 4Х5МФС составляет 200 мкм, микротвердость поверхностной зоны (ϵ -фазы)–1010 кг/мм², зоны внутреннего азотирования – 850-600 кг/мм².

При карбидизации фильер и ножей для деревообработки из стали Х12М ($T=950^{\circ}\text{C}$, $\tau=6$ ч) толщина слоя составляет 0,8 мм, микротвердость плавно меняется от 900 кг/мм² на поверхности до 650 кг/мм² - сердцевины. Карбидная фаза состоит из легированного цементита и карбидов Cr_7C_3 и Cr_{23}C_6 .

Результаты проведенных испытаний на предприятиях строительной отрасли Беларуси свидетельствуют, что термодиффузионная обработка может быть успешно использована для увеличения эксплуатационной стойкости

инструмента и оснастки, использующихся при производстве строительных материалов.

УДК 621.785.5

**Влияние процессов карбидизации и карбонитрации
на повышение механических свойств
инструментальных сталей**

Кухарева Н.Г., Петрович С.Н., Галынская Н.А.
Белорусский национальный технический университет

Эксплуатационные характеристики изделий из инструментальных сталей можно повысить путем модификации их поверхностной зоны методом термохимической обработки, в частности применением карбидизации и карбонитрации.

Цель работы - исследование влияния условий проведения термодиффузионной карбидизации и карбонитрации в порошковых средах на механические свойства инструментальных сталей и изучение взаимосвязи с их структурой.

Процесс карбидизации осуществляли на штамповых сталях X12, X12Ф1, 4X5B2ФС и 4X5МФС при $T=950-1050^{\circ}\text{C}$, 6 часов, с последующей закалкой с $T=850^{\circ}\text{C}$ и отпуском $T=200^{\circ}\text{C}$, 2 ч. В случае карбонитрации закалку и отпуск проводились перед поверхностной обработкой. Процесс карбонитрации осуществляли также на стали Р6М5 при $T=450-550^{\circ}\text{C}$ в течение 6 часов.

Изучен процесс карбидизации штамповых сталей. Установлено, что наибольшей поверхностной твердостью обладают карбидизированные штамповые стали, содержащие в своем составе при большом количестве углерода меньшее количество легирующих элементов. Температура проведения процесса карбидизации влияет на распределение и размер карбидных фаз в слое. Так наибольшую площадь в слое имеют карбиды, полученные при температуре насыщения равной 1000°C , однако образование при этом в диффузионных слоях крупных карбидов ($4-8\text{ мкм}^2$), приводит к ухудшению их износостойкости. Лучшей износостойкостью обладают стали с высоким содержанием углерода, карбидизированные при $T=950^{\circ}\text{C}$ и 1050°C .

Низкотемпературная карбонитрация стали Р6М5 позволяет получить диффузионные слои с микротвердостью 13400-15250 МПа и протяженностью зоны повышенной твердости 80-120 мкм. Максимальной микротвердостью обладают слои полученные при 550°C с мелкими частицами шаровидной формы.

Высшей износостойкостью обладают карбонитрированные при T=450-500°C слои на стали Р6М5, содержащие наименьшее количество мелкодисперсных карбидов и карбонитридов.

Изучение влияния структурного состава карбонитридного диффузионного слоя на стали Р6М5 на механические свойства показало отсутствие прямой зависимости между количеством мелкодисперсных частиц в слое, его твердостью и износостойкостью.

УДК 539.6: 629.7

**Применение специализированного программного пакета
«Статистика» для углубленного изучения дисциплины
«Математическое моделирование технологических процессов»**

Мельниченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Пакет «Statistika» является сертифицированным программным продуктом для выполнения статистических расчетов и обработки экспериментальных данных. Особенной ценностью пакета является наличие в нем разветвленной справочной системы, включающей примеры обработки различного типа опытных данных.

Для изучения дисциплины «Математическое моделирование технологических процессов» особой ценностью «Statistika» является встроенные возможности проведения планов Бокса для построения многофакторных экспериментов; поиск области оптимума методом градиента; решение задач на симплексных решетках «Состав – Свойство»; проведение опытов эволюционного планирования; построение графических карт с возможностью градации по значениям и цветовому переходу функций отклика.

Пакет «Statistika», после изучения работы на нем, является универсальным средством для применения статистических и

математических методов решения инженерной задачи любой сложности, как в рамках одного предприятия, так и для моделирования многокритериальных задач со многими функциями отклика в пределах министерства или другого состава предприятий.

УДК 539.6: 629.7

Решение задач теплообмена в MathCad 12

Мельниченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

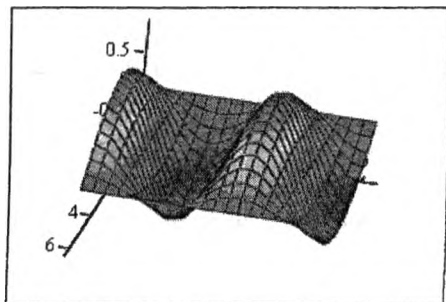
Как показывает опыт использования MathCad, каждая последующая версия добавляет новые возможности в решении уравнения в частных производных. Уравнения параболического типа легко решаются с применением метода конечных разностей (явная и неявная разностная схема).

Задачи теплообмена могут быть решены для простых геометрических областей (прямоугольная, круговая, кольцевая). На границах областей могут быть установлены граничные условия 1,2 или 3 рода. Начальные условия могут включать как постоянные, так и зависящие от времени значения температуры.

PDEsolve решатель содержит четыре способа аппроксимации исходного уравнения – центральные конечные разности, 5-ти точечное простое и рекурсивное приближение, а также полиномиальная аппроксимация производных.

Различные способы численных решений позволяют сравнить эффективность методов.

Визуализация решения для многомерных уравнений достигается ведением функции построителя сетки и поверхности. Получаются реалистичные интерактивные графики.



Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет

В работе анализируется система обозначений марок стали по Евронормам (стандарт EN10027).

Часть 1 стандарта EN10027 определяет порядок маркировки сталей с присвоением им буквенно-цифровых обозначений.

По буквенно-цифровым обозначениям стали делятся на две группы. В первую группу отнесены стали, назначение которых определяется в первую очередь механическими или физическими свойствами, во вторую - их химическим составом.

Маркировка сталей первой группы состоит из одной или более букв, связанных с назначением стали, далее следуют цифры, определяющие состояние поставки стали и ее назначение. Впереди (если необходимо) ставится буква G (стальное литье). Например, H420M: H (если установлен предел текучести) или HT (если установлено временное сопротивление) – обозначение холоднокатаного листового проката; 420 – минимальный предел текучести в Н/мм²; M – термомеханически упрочненная или холоднокатаная.

Вторая группа разделена на четыре подгруппы в зависимости от назначения и содержания легирующих элементов.

Первая подгруппа: нелегированные стали.

C35E4: 35 - среднее содержание углерода, умноженное на 100 (до трех цифр); E - максимальное содержание серы, умноженное на 100.

Вторая подгруппа: легированные стали с содержанием каждого легирующего элемента до 5% .

34Cr4: 34 - среднее содержание углерода, умноженное на 100; 4 - среднее содержание хрома, умноженное на 4.

Коэффициенты умножения:

Cr, Co, Mn, Ni, Si, W - 4; Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr - 10; Ce, N, P, S - 100; B - 1000;

Третья подгруппа: легированные стали, со средним содержанием по меньшей мере одного легирующего элемента выше 5%.

X40 Cr Si Mo10-2: X - указывает на степень легированности стали; цифры соответствуют среднему содержанию легирующих элементов. При содержании легирующего элемента менее 1 % цифра не указывается.

Четвертая подгруппа: быстрорежущие стали.

HS6-5-2: числа указывают содержание легирующих элементов в следующем порядке: W-Mo-V-Co.

УДК 621.785.5

Методы моделирования процессов ХТО

Менделеева О.Л.

Белорусский национальный технический университет

Мощным инструментом современного материаловедения является моделирование. Процессы, происходящие на IV и V стадиях ХТО, а именно, диффузия насыщающего элемента в металл, диффузионное перераспределение компонентов сплава, зарождение и рост кристаллов новых фаз, являются процессами многофакторными, многокомпонентными и необратимыми. При ХТО одновременно протекают несколько разнородных процессов, возможны взаимодействия факторов и интерференция эффектов. Моделирование таких процессов возможно только при условии многочисленных упрощений и допущений. Требования, предъявляемые к точности модели, определяют выбор метода математического описания (решения).

В настоящее время для исследования процессов ХТО используют модели, основанные на методах:

- математического анализа уравнений диффузии классической теории диффузии и квазиравновесной диффузионной кинетики;
- математической статистики;
- термодинамического анализа.

При исследовании процессов формирования структуры диффузионного слоя термодинамические оценки равновесного состояния реакционной системы следует сопоставлять с теоретическими представлениями о механизмах элементарных процессов, их кинетическими характеристиками и проверять адекватность полученной модели экспериментально.

Формирование плазменных покрытий при резонансном режиме вибрации подложки

Соколов Ю.В., Садоха М.А., Позняк И.Г.

Белорусский национальный технический университет

Для снятия внутренних напряжений в оболочке детали (в процессе ее формирования на модели без предварительного нагрева последней) было предложено устройство, содержащее двухполюсную электромагнитную систему, полюсные наконечники которой замкнуты подвижной частью магнитопровода.

На модель-подложку из стали 45 с карбидным противoadгезионным покрытием, полученным термодиффузионной обработкой в хромосодержащей смеси, напыляли порошки ПР-НД42СР (NiCuBSi) и ПР-10Р6М5 (FeWMoCr). Перед напылением поверхность подложки полировали до достижения шероховатости, соответствующей $Ra=0,032...0,060$ мкм. Напыление проводили в дуге аргоноаммиачной плазмы при мощности дуги - 32 кВт, дистанции напыления - 0,12 м, расходе порошка - 40 г/мин. Величину зазора Δ между подвижной частью магнитопровода 4 и полюсным наконечником 2 изменяли в пределах 50...600 мкм. При этом максимальный эффект достигается в том случае, когда интервал величины зазора составляет 300...350 мкм, т.е. обеспечивает резонансный режим вибрации подложки и, как следствие, развитие релаксационных процессов в покрытиях. В покрытиях NiCuBSi, полученных в интервале резонансных частот вибрации подложки, заметно прослеживается формирование совершенной блочной структуры при заметной пористости (напыление проводили без оплавления покрытий). О факте развития разупрочняющих процессов, определяющих уровень внутренних напряжений в покрытиях дополнительно свидетельствует и толщина «наращиваемого» слоя покрытия. Если при напылении порошка на неподвижную подложку коробление покрытия наблюдалось уже при толщине слоя $\sim 0,3...0,5$ мм, то напыление в режиме резонансной частоты вибрации подложки обеспечивало (при прочих равных условиях) «наращивание» слоя толщиной не менее 2...3 мм (в зависимости от геометрии подложки).

Использование комплексного диффузионного упрочнения для повышения стойкости инструмента

Ситкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

В работе исследованы два направления использования процессов ХТО - высокотемпературное (боросилицирование) и низкотемпературное (борокарбозотирование, карбозотирование). Процесс боросилицирования проводится при температурах 900-950°C и на углеродистых и низколегированных сталях формируются диффузионные слои повышенной твердости (свыше 13 ГПа) вследствие чего износостойкость при определенных параметрах испытаний возрастает более чем в 6 раз. Процесс борокарбозотирования проводится при температурах 450-600°C. При этом на инструментальных сталях типа Х, 9ХС, ХВГ формируются диффузионные слои с микротвердостью до 8-8,5 ГПа, а на сталях типа Х12М, Р6М5, 3Х3М3Ф, 4Х5МФС – более 12 ГПа. В связи со сказанным, процесс борокарбозотирования можно рекомендовать к использованию для повышения стойкости металлообрабатывающего инструмента из быстрорежущих сталей типа Р6М5 (сверла, метчики, фрезы, развертки, зенкеры и др.), деформирующей оснастки из легированных штамповых сталей и других видов деталей.

При упрочнении мелкогабаритных деталей их помещают в любую емкость, засыпают диффузионноактивной смесью и выдерживают в печи при заданных параметрах. Упрочнение крупногабаритного инструмента осуществляется с помощью диффузионноактивных обмазок. Обмазка наносится тонким слоем на рабочую поверхность после чего изделия выдерживают при температурах отпуска легированных сталей 500-600°C несколько часов в камерной печи с воздушной атмосферой (процессы борокарбозотирования, карбозотирования). В случае боросилицирования обеспечивается совмещение ХТО в обмазках с нагревом изделий под закалку при температурах 850-1000°C. При этом стойкость инструмента можно повысить в 2- 5 раз.

**Исследование деформационного старения стали
при производстве тонкостенных электросварных
труб и изделий из них**

Щербаков Э.Д., Лапин В.П., Эссенсон О.Р.

Белорусский национальный технический университет

Деформационным старением принято называть изменения свойств металла, происходящие во времени после холодной или теплой пластической деформации. Наиболее важным следствием деформационного старения стали являются эффекты упрочнения и охрупчивания.

Склонность к деформационному старению холоднокатаных сталей при штамповке сложных изделий с большой степенью деформации появляется в результате закрепления дислокаций атмосферами Коттрелла (атомами внедрения – углерода и азота) и вырывом дислокаций из закрепления при достижении предела текучести. Поэтому целесообразно использовать (при производстве тонкостенных электросварных труб в том числе) стали с пониженным содержанием атомов внедрения. Например стали марок 08Ю и 08пс (0,03-0,06%С и 0,003-0,005%N).

При производстве труб в металл вносятся «свежие» дислокации, которые при последующем вылеживании готовой трубы закрепляются выделяющимися атомами внедрения. Особенно это явление характерно для летнего периода, либо при искусственном нагреве.

Так, при нагреве на 70°С(в ходе мойки) трубы диаметром 16мм из стали 08Ю относительное удлинение упало на 4%. При проведении исследований той же партии трубы (т.е. после дополнительного вылеживании в летний период) было обнаружено падение по сравнению с начальным относительного удлинения на 8-9%.

Склонность к деформационному старению в основном связана с такими факторами, как количество атомов внедрения в стали, степень деформации.

При производстве тонкостенных электросварных труб малого диаметра необходимо учитывать явление деформационного старения: предпочтительно использовать операцию редуцирования вместо калибровки, если это представляется возможным.

Исследование влияния режима отжига тонкостенных электросварных труб

Щербаков Э.Д., Лапин В.П., Эссенсон О.Р.

Белорусский национальный технический университет

Упрощенно технологическая схема производства тонкостенных электросварных труб: формовка штрипса; сварка штрипса; калибровка труб.

Для некоторых типоразмеров труб возможна иная схема производства, а именно – процесс калибровки заменен на редуцирование (и, в отдельных случаях, - редукицию).

Степень деформации металла трубы сильно зависит от схемы производства. Известно, что любая деформация ведет к увеличению плотности дислокаций.

Критическая степень деформации для большинства металлов около 5—10% поперечного сечения. После прокатки с критической степенью деформации при последующем отжиге зерно растет очень быстро, в результате чего получается крупнозернистая структура с низкими и неравномерными механическими свойствами.

Для некоторых типоразмеров тонкостенных электросварных труб, полученных методом калибрования, свойственна именно критическая степень деформации. Следствием чего является рост зерна на наружной и внутренней поверхностях труб при отжиге, а также, соответственно, и падение пластичности. Для редуцированных труб степень деформации является закритической и аномального роста зерна не происходит.

Если произведенные калиброванием трубы в процессе изготовления из них деталей подвергаются редуцированию, то целесообразно проводить последующий отжиг, а затем (если это требуется) холодную пластическую деформацию. Такой отжиг заготовок даёт хорошие результаты, поскольку предшествующее редуцирование выводит степени деформации за пределы критических. А для калиброванных труб (из современных сталей 08Ю и 08пс, особо чистых по азоту, углероду и другим вредным примесям) промежуточный рекристаллизационный отжиг не нужен, поскольку они обладают достаточным запасом технологической пластичности для выполнения последующих операций ХПД.

**Анализ проблемных вопросов при производстве
диффузионно-легированных наплавочных материалов
в условиях РУП «МЗШ»**

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на РУП «МЗШ» создан участок упрочнения деталей, в котором размещается установка для диффузионного легирования порошковых материалов (ДЛПМ).

ДЛПМ осуществляется в контейнерах. В качестве насыщаемого материала используются отходы чугунной колотой дроби. Насыщающий материал – карбид бора.

Наплавка осуществляется на установке для наплавки, расположенной на участке.

Вопросы и возможные пути их решения следующие:

1. Низкая производительность установки для ДЛПМ что является важным так как потребность завода в наплавочном материале постоянно растет. Производительность установки можно повысить, если использовать 5 контейнеров вместо 3;
2. Конструкция установки не совершенна и ее поломки отрицательно сказываются на всем процессе ДЛПМ. Ведется работа по совершенствованию и модернизации установки;
3. Механизация и автоматизация процессов ДЛПМ на низком уровне. Ведется разработка приспособлений для сепарации, перемешивания и нанесения наплавочного материала для последующей наплавки;
4. Использование расходуемых насыщающих смесей является более выгодным при ДЛПМ, так как отпадает проблема сепарации наплавочного материала. Планируется использовать ферробор или аморфный бор, что повысит производительность.
5. Высокая температура плавления порошка. Проведенное исследование показало что, оплавление в концентрированном тепловом потоке может являться одним из возможных способов снижения температуры плавления ДЛ наплавочных порошков для индукционной наплавки, что в свою очередь приведет к повышению качества наплавляемого слоя и повышению его эксплуатационных свойств.

**Перспективные направления применения
экономно-легированной проволоки**

Семенченко М.В

Белорусский национальный технический университет

Экономно-легированная проволока является перспективным материалом. Химический состав ее может варьироваться в зависимости от требований, предъявляемых к той или иной детали, а стоимость ниже стоимости легированных материалов.

Проведенный анализ свидетельствует об эффективности применения диффузионного насыщения проволоки, осуществляемого посредством непосредственного пропускания электрического тока через проволоку.

Диффузионно-легированная проволока отличается высоким качеством поверхности, низким градиентом концентрации легирующего элемента по поперечному сечению, повышенной пластичностью.

Одним из перспективных направлений применения данной проволоки является нанесение защитного покрытия. Нанесение защитного покрытия позволяет обеспечить требуемый комплекс эксплуатационных свойств конкретной поверхности за счет возможности формирования покрытия различного химического состава.

Перспективным направлением является модифицирование расплавов. Наиболее удобным и технически легко осуществимым способом модифицирования является ввод в расплав тонкоизмельченных модифицирующих присадок, помещенных в металлических трубках (полый проволоки). Однако такая проволока отличается повышенной стоимостью, и ее применение требует предварительных экономических расчетов.

Экономно-легированная проволока подается в металл с регулируемой скоростью, обеспечивая высокую степень усвоения модификатора, не повышая столь значительно стоимость самого процесса модифицирования.

Таким образом, можно выделить следующие перспективные направления применения экономно--легированной проволоки:

- Нанесение защитных покрытий;
- Модифицирование расплавов.

**Исследование формирования структуры микрообъектов
из высоколегированных сталей насыщения азотом
и углеродом***

Стефанович А.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы являются исследование возможности получения наплавочных материалов из стружечных отходов инструментальных сталей подвергнутых ХТО.

Для исследований были выбраны стружечные отходы конструкционных и инструментальных сталей. Размеры частиц стружки имеют следующие значения: толщина 0,1-0,2 мм, ширина и длина от 0,2 до 0,8 мм.

Насыщение углеродом, углеродом и азотом отходов инструментальных сталей проводили в порошковых смесях на основе углеродо- и азотосодержащих солей при температурах от 550 до 1050 °С в течении 1, 2, 4 часов. Металлографический анализ стружечных отходов подвергнутых насыщению углеродом показал, что проникновение углерода происходит на всю толщину стружки и зависит от следующих параметров: от температуры и времени насыщения, от толщины (при одинаковых температурновременных параметрах больше карбидов содержится у стружки меньшей толщины), от трещин в стружке, по которым происходит диффузия углерода. Структура представляет собой карбидные карбонитридные и нитридные включения размером 1-5 мкм находящиеся в матрице. При насыщении при температуре 550 °С на поверхности формируется ε фаза толщиной 1-5 мкм, а далее следует зона внутреннего азотирования.

Содержание углерода в стружечных отходах колеблется в широких пределах от 1,6% до 5,16% в зависимости от состава насыщающей смеси и температурновременных параметров ХТО. Рентгеноструктурный анализ стружечных отходов подвергнутых ХТО позволили определить следующие фазы: α -Fe, M_6C , Fe_3C , $(Cr,Fe)_2N_{1-x}$, Fe_3N , $Cr_{0.62}$, $C_{0.35}$, $N_{0.03}$ $M_4(C,N)$.

* Работа выполнялась под руководством кандидата техн. наук, доцента Константинова В.М.

Теория механизмов и машин

УДК 681.3

Решение инженерных задач с использованием системы Mathcad


Анципорович П.П., Алейникова О.И., Булгак Т.И., Луцко Н.Я.
Белорусский национальный технический университет


На кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ для изучения курса «Информатика» разработан и внедрен в учебный процесс электронный лабораторный практикум, один из разделов которого посвящен изучению математического пакета Mathcad при решении инженерных задач. Разработанный электронный вариант лабораторных работ содержит последовательность упражнений, позволяющих студенту изучить технологии, объекты и инструменты Mathcad.

Выполняется три лабораторные работы, позволяющие освоить вычисления выражений, табулирование функций, построение графиков в различных системах координат, операции над интегралами и матрицами, решение нелинейных и дифференциальных уравнений. Вначале осуществляется знакомство с пакетом Mathcad для приобретения навыков работы с панелями инструментов. Диалог обучаемого с электронной инструкцией можно продемонстрировать на нижеприведенном фрагменте:

1. Вычислите определенный интеграл $\int_0^1 \cos x dx$. Для этого:

1.1 установите визир в месторасположение интеграла;

1.2 нажмите кнопку  на Панели **Калькулюс**;

1.3 заполните шаблон  в виде $\int_0^1 \cos(x) dx$;

1.4 нажмите клавишу = для получения результата;

1.5 выполните LC вне вычисленного выражения.

Освоение очередной технологии требует знания и использования ранее изученных технологий. Электронный практикум содержит также и задания повышенной сложности, открытие которых осуществляется переходами по гиперссылкам.

**Инновационные технологии
в разделе «Кинематика механизмов»**

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дворянчикова А.Б.,
Дубовская Е.М., Селедченко А.М.

Белорусский национальный технический университет

В процессе проектирования схем машин различного назначения важное место занимают задачи определения кинематических характеристик механизмов, входящих в состав машин.

Наиболее трудоемким является кинематический анализ рычажных механизмов. К сожалению, в связи с высокой информационной насыщенностью курса теории механизмов и машин на изучение раздела выделяется мало времени, причем традиционно применяемые методы обучения в процессе чтения лекций, практических занятий слабо развивают воображение студентов и не способствуют развитию творческого мышления.

В связи с вышеизложенным, на кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ проводится целенаправленная работа по разработке и внедрению в учебный процесс инновационных образовательных технологий, учитывающих потребность в изменении содержания курса, новых форм и методов обучения.

Методы решения задач кинематики механизмов по способу реализации разделяются на графоаналитические и аналитические. В курсе преобладают аналитические методы с привлечением аппарата векторной алгебры или матриц, а иногда и численных методов и ориентированные на использование компьютерных технологий, поскольку эти методы связаны с большим объемом вычислений.

В то же время с расширением применения компьютерной техники и современных графических редакторов (Компас, T-Flex) графо-аналитические методы практически лишились своих основных недостатков, таких как низкая точность, большая громоздкость построений, сохранив наглядность и быстроту решения задач. Появилась возможность создания обучающих программ, позволяющих анализировать влияние различных схем и геометрических размеров на выходные параметры движения.

Обеспечение виброизоляции новой современной техники в машиностроительном производстве

Астахов Э.И., Кудин В.В., Кудин М.В.

Белорусский национальный технический университет

Новая современная техника предъявляет повышенные требования к уровню вибраций на рабочих площадках их установки в цехах машиностроительных предприятий. Для снижения величины вибраций на корпусах новой техники предлагается использовать виброизоляцию между корпусом машины и рабочей площадкой цеха. Вид виброизоляции зависит от соотношения $K = V_n / D$,

где V_n – измеренный параметр вибрации на рабочей площадке цеха (виброперемещение, виброскорость, или их уровни L);

D – допустимое значение параметра вибрации корпуса машины (по паспорту машины).

При $K \leq 1$ допускается монтаж корпуса машины на бетонном снивелированном покрытии рабочей площадки (или на деревянных прокладках). При $1 \leq K \leq 2$ необходима установка полиуретановых или резиновых (из маслостойкой резины) виброизоляторов (прокладок) по контуру опорной поверхности машины. При $K > 2$ фундамент машины устанавливается в железобетонном коробе на металлических пружинах расчетной жесткости C , зависящей от низшей угловой частоты P_1 кинематического вибровозмущения пола цеха:

$$C = \frac{mg}{(A)(1 - (P_1/K)^2)},$$

где m - масса машины с фундаментом, кг;

(A) - допустимая амплитуда колебаний на частоте P_1 , m ;

P_1/K - задаваемое соотношение частот P_1 вынужденных и K собственных колебаний; $P/K \geq 2$, $g = 9,81 м/с^2$.

Гидропневмоавтоматика

Методика расчёта статических характеристик гидрообъёмного рулевого привода с усилителем потока

Заболоцкий Е.М., Автушко В.П.

Белорусский национальный технический университет

В рулевых управлениях автомобилей особо большой грузоподъёмности для совершения поворота управляемых колёс необходимо увеличивать расход рабочей жидкости, поступающий по линиям управления от насоса-дозатора. С этой целью в систему устанавливается усилитель потока, обеспечивающий увеличение расхода с требуемым коэффициентом усиления. Усиленный поток рабочей жидкости пропорционален частоте вращения рулевого колеса. При определении грузоподъёмности карьерных самосвалов основными параметрами являются характеристики применяемой шины. Данные характеристики обуславливают величину возможной нагрузки на переднюю ось.

Задачей исследования статических характеристик является определение основных параметров привода, поэтому на данном этапе исследований целесообразно принять следующие допущения: отсутствуют потери на трение; все элементы привода абсолютно жёсткие; привод абсолютно герметичен. Авторами разработана методика расчёта статических характеристик гидрообъёмного рулевого привода с усилителем потока, позволяющая, зная грузоподъёмность карьерного самосвала (величину допустимой нагрузки на переднюю ось G_1), находить объём цилиндров поворота $V_{\text{ц}}$ и необходимый расход рабочей жидкости для управляющей системы Q .

В соответствии с разработанной методикой расчёта статических характеристик проведено исследование основных параметров гидрообъёмного привода рулевого управления автомобилей особо большой грузоподъёмности (от 90 до 320 тонн) в зависимости от нагрузки на переднюю ось, параметров шины и рекомендуемых эргономических показателей.

Анализ полученных результатов показывает, что для обеспечения требуемой скорости поворота управляемых колёс для карьерных самосвалов особо большой грузоподъёмности обязательно наличие в конструкции рулевого управления помимо насосов-дозаторов усилителей потока.

О методах испытаний гидроаппаратов

Филипова Л.Г.

Белорусский национальный технический университет

При предварительных, приёмочных, типовых, периодических и ресурсных испытаниях гидроаппаратуры производится проверка функционирования, прочности, герметичности, плавности регулирования и диапазона настройки, а также других показателей в зависимости от функционального назначения.

Испытания гидроаппаратов и правила их приемки необходимо проводить в соответствии ГОСТ 20245-95.

В зависимости от типа гидроаппарата проводятся следующие проверки функционирования:

для гидроаппаратов управления направлением потока - прохода рабочей жидкости в линиях, предусмотренных схемой гидроаппарата, зависимости расхода от вязкости рабочей жидкости, зависимости расхода от разности давлений на входе и выходе;

для гидроаппаратов управления давлением и величиной расхода - характера и величины перемещения рабочих элементов гидроаппарата, регулирования расхода, давления, времени и т.д.

Испытания гидроаппаратов должны проводиться на испытательных стендах в соответствии с ГОСТ 24555-95. Рекомендуемые схемы стендов предназначены для проверки одного или нескольких показателей и содержат минимальное количество необходимых для этого устройств. Возможно также использование интегрированных стендов для проверки нескольких показателей одновременно.

Учитывая многообразие аппаратуры и различие её функциональных возможностей, можно рассмотреть базовую схему стенда. Для определения специфических характеристик какого-либо гидроаппарата в таком стенде делают необходимые изменения.

Одними из основных показателей, подлежащих проверке являются прочность и герметичность. Проверке должны подвергаться все полости гидроаппаратов, в которых создаётся избыточное давление. При этом производится одновременный подвод рабочей жидкости к различным линиям гидроаппарата.

Гидродинамическое сопротивление каналов гидроприводов при пульсирующем течении жидкости

Веренич И.А.

Белорусский национальный технический университет

При расчетах гидродинамического сопротивления каналов и трубопроводов часто используют чрезмерно упрощенные модели течений жидкости и процессов взаимодействия ее с элементами гидроприводов. Однако, наличие каналов смежной формы, возникновение пульсаций скорости и давлений потока, обусловленных кинематикой насосов, гидродвигателей и другими факторами вызывает необходимость дальнейшего развития методик расчета сопротивления трения каналов приводов с учетом этих явлений, что позволит более обоснованно выбирать мощность насосов и находить пути снижения энергозатрат.

В докладе предложена методика расчета гидродинамического сопротивления каналов гидроприводов при гармоничных пульсациях потока. В основу взяты уравнения механики жидкости и газа для неустановившегося течения жидкости. Математическая модель представляет собой уравнения Навье-Стокса в цилиндрических координатах с учетом изменения давления и скорости потока не только во времени, но и по длине трубопровода. Нестационарные касательные напряжения на стенках каналов определяются по выражениям, учитывающим безразмерную частоту пульсаций потока, предложенным Д.Н. Поповым:

$$\tau_n = 4 \cdot \varepsilon \cdot \mu \cdot v / r_0,$$

где ε – коэффициент, учитывающий пульсации потока; μ – динамическая вязкость, Па·с; v – скорость в каждый момент времени, м/с; r_0 – приведенный радиус канала, м.

$$\varepsilon = \sqrt{\bar{\omega}} / 2 + 0,4, \quad \bar{\omega} = 2\pi \cdot f \cdot r_0^2 \cdot \rho / (8\mu).$$

Была проведена оценка изменения гидродинамического сопротивления трения в канале с приведенным диаметром $d_0 = 10$ мм, кинематической вязкостью жидкости $\nu = 20$ мм²/с и частотой пульсаций потока $f = 10$ Гц. По сравнению с расчетом для установившегося ламинарного течения гидродинамическое сопротивление при пульсации потока увеличивается в 1,3 раза.

Изнашивание пар трения объемных гидромашин

Станюк Е.И., Веренич И.А.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение равной износостойкости всех деталей гидромашин позволит отодвинуть срок первого ремонта или отказаться от капитального ремонта. Для прогнозирования износостойкости деталей на этом этапе проектирования важное место занимают расчеты на износ.

Цель работы – предложить методику расчета интенсивности изнашивания и износа пар трения гидромашин на основе усталостной теории изнашивания. В докладе приведены модели пар трения шестеренных, пластинчатых и аксиально-поршневых гидромашин.

Одной из характеристик износа принята объемная интенсивность изнашивания. Аналитические кривые усталости для упругого контакта описаны эмпирическими формулами степенного вида. Так как в трении участвует не вся номинальная поверхность, а только фактическая, то введен удельный износ – отношение объема материала части неровностей, внедрившегося в поверхность изнашиваемого материала и характеризующий то количество материала, которое оказывается втянутым в процесс трения и износа к фактической площади контакта при сдвиге на путь (в результате одного акта взаимодействия неровностей).

Получены соотношения для установившегося движения в условиях трения с различной рабочей жидкостью при постоянной скорости скольжения, которая создает в узле трения соответствующую температуру. Результаты расчета интенсивности изнашивания пар трения гидромашин были сопоставлены с известными экспериментальными данными. Анализ показал, что расхождение между расчетными и экспериментальными результатами менее 10 %. Предложенный метод расчета позволяет расчетным путем определять ресурс узла трения, выявлять влияние на износ параметров пар трения гидромашин и свойств рабочей среды, каким путем результат наблюдений, проведенных в одних условиях можно перенести на результат наблюдений, проведенных в других условиях.

К вопросу расчета коэффициентов расхода пневматических трубопроводов

Гиль С.В., Жилевич М.И.

Белорусский национальный технический университет

В формулах для определения мгновенного массового расхода воздуха через пневмосопротивление (трубопровод, дроссель) используется коэффициент расхода, который обычно определяют экспериментальным методом, используя кривую переходного процесса наполнения (или опорожнения) постоянной емкости. При этом объем самого трубопровода не учитывается. Поэтому коэффициенты расхода трубопровода зависят кроме их длины и диаметра также и от объема исследуемой емкости.

В работе использована методика приведения распределенного объема трубопровода к объему емкости, методика определения пропускной способности пневмосопротивлений при экспоненциальном входном воздействии. В соответствии с этим проведена коррекция имеющихся экспериментальных данных по коэффициентам расхода трубопроводов $\varnothing 10 \times 1$, $\varnothing 15 \times 1$, $\varnothing 18 \times 1,5$ из медных сплавов. Установлено, что разброс коэффициентов расхода трубопроводов для разных емкостей не превышает 5%, что находится в пределах погрешностей эксперимента.

Выполнена аппроксимация экспериментальных данных каноническим полиномом, рассчитаны коэффициенты полиномов. Полученная характеристика представляет собой многочлен второго порядка в функции от длины трубопровода, причем каждый из коэффициентов рассчитывается как полином второго порядка в зависимости от диаметра трубопровода. Разработана программа, выполнен расчет и получена таблица коэффициентов расходов трубопроводов с различными длинами и внутренними диаметрами. Отклонения расчетных значений от экспериментальных составляет порядка 0,01 для трубопроводов длиной до 5-7 метров.

Полученная эмпирическая зависимость позволяет автоматизировать динамический расчет пневмоприводов, сократить затраты на экспериментальные исследования по определению коэффициентов расходов трубопроводов, ускорить процесс проектирования пневмоприводов различного назначения.

Динамический расчет гидравлических тормозных устройств двухпозиционных пневматических приводов

Кишкевич П.Н., Бартош П.Р.

Белорусский национальный технический университет

Динамический расчет гидравлических тормозных устройств (ГТУ) состоит в определении характера изменения проходного сечения для жидкости, обеспечивающего заданный закон движения перемещающихся масс на участке торможения.

При управлении в функции перемещения регулируемая характеристика ГТУ является функцией перемещения поршня пневмопривода, т.е. $f(z) = f(y)$.

Уравнение совместного движения тормозимой массы и штоке гидроцилиндра тормозного устройства на участке торможения при некоторых допущениях можно представить в виде

$$m_{\text{пр}} \ddot{Y} = P_{\text{дв}} - P_{\text{г}} - P_{\text{поз}} - P_{\text{т.о.}},$$

где Y – координаты поршней пневмопривода и ГТУ; $m_{\text{пр}} = m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}$ – сумма приведенных масс подвижных частей привода, ГТУ и рабочей жидкости; $P_{\text{дв}} = P_{\text{д}} - P_{\text{с}}$ – равнодействующая движущей силы $P_{\text{д}}$, приложенной со стороны пневмоцилиндра к движущей массе и силы сопротивления $P_{\text{с}}$; $P_{\text{поз}}$ – позиционная сила; $P_{\text{г}}$ – переменная гидравлическая составляющая силы торможения. Сила $P_{\text{г}}$ определяется по формуле в виде

$$P_{\text{г}} = p_{\text{г}} A_{\text{г}} = A_{\text{г}} p_{\text{г}}(v, A_{\text{др}}).$$

Если задан закон торможения – $\ddot{Y} = V dv/dt$ в функции перемещения, то для любого момента времени могут быть найдены соответствующие скорости и перемещения.

После некоторых преобразований найдем закон изменения проходного сечения управляющего дросселя в функции перемещения:

$$A_{\text{др}}(y) = A_{\text{др}}(0) \sqrt{1 - Y/Y_{\text{т}}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{др}}(0)$ – площадь проходного сечения регулируемого дросселя в начале торможения, $Y_{\text{т}}$ – путь торможения.

Дальнейший расчет сводится к определению переменного параметра дросселя по заданному закону изменения его площади (1) и известной геометрической характеристике.

К выбору параметров гидравлических тормозных устройств двухпозиционных пневматических приводов

Кишкевич П.Н., Автушко В.П., Бартош П.Р.

Белорусский национальный технический университет

При торможении пневмопривода, начинающейся в определенной точке, к движущейся массе m_n прикладывается дополнительная сила торможения P_T , определяемая характеристикой используемого тормозного устройства.

Дифференциальное уравнение движения штока пневмоцилиндра при этом примет вид

$$m_n \ddot{Y} = P_d - P_c - P_T, \quad (1)$$

где m_n – приведенная масса; P_c – сила сопротивления; P_d – движущая сила, которая в линеаризованной характеристике пневмоцилиндра зависит от v и t .

Для определения силы торможения по заданному закону движения сумму звеньев уравнения (1) будем рассматривать как некоторую заданную функцию $H=H(Y)$ перемещения поршня пневмоцилиндра.

При торможении с постоянным модулем ускорения функция $H(Y)$ запишется в следующем виде

$$H(Y) = m_n v_0^2 / (2Y_T) + P_d - P_c, \quad (2)$$

где $v_0 = v_T$ – начальная скорость торможения, Y_T – путь торможения выходного звена пневмопривода.

Необходимая идеальная сила торможения $P_{T,н} = P_{T,н}(Y)$, обеспечивающая движение по заданному закону определяется из уравнения (1) подстановкой уравнения (2) в виде

$$P_{T,н}(Y) = H(Y).$$

Далее полученное выражение приравнивается к характеристике тормозного устройства выбранного типа, т.е.

$$P_{T,н}(Y) = P_{T,0} + P_T(Y, \dot{Y}, Z),$$

где $P_{T,0} = \text{const}$ – начальное сопротивление тормозного устройства, зависящее от его конструктивных особенностей.

Из последнего равенства непосредственно определяется закон изменения управляющего параметра Z тормозного устройства: $Z = Z(Y)$.

**Анализ результатов дорожных испытаний троллейбуса,
оборудованного АБС и ПБС**

Сафонов А.И.

Белорусский национальный технический университет

Проведенные дорожные испытания троллейбусов 321 и 333 УП «Белкоммунмаш» позволили решить следующие задачи: определить показатели эффективности торможения с помощью вспомогательной (ВТС) и рабочей (РТС) тормозных систем, в том числе оборудованной АБС; исследовать взаимодействие и взаимное влияние ВТС, РТС и АБС при их совместном использовании; оценить эффективность разработанной комплексной АБС–ПБС троллейбуса, в том числе в соответствии с требованиями правил ЕЭК ООН № 13.

Испытания разработанной системы проводились в два этапа. В ходе первого была отработана основная часть алгоритма, которая непосредственно согласует действия РТС и ВТС, отбрасывая известную проблему по определению действительной скорости. Блокирование колес, даже кратковременное, при этом не наблюдалось в любых дорожно-цепных условиях, а установившееся замедление было максимальным для соответствующего покрытия. Тем самым была подтверждена работоспособность предложенной системы и ее качественное преимущество по сравнению со штатной АБС. В ходе второго этапа определялись количественные показатели эффективности разработанной системы: замедление и коэффициент реализуемого сцепления. Было установлено, что в соответствии с требованиями правил ЕЭК ООН № 13 обеспечивается: установившееся замедление $>4 \text{ м/с}^2$ на асфальте; циклическая работа АБС; коэффициент реализуемого сцепления для разных дорожных покрытий $\epsilon > 0,75$.

Эффективность разработанной ПБС оценивалась по величине буксования ведущих колес троллейбуса, оборудованного и необорудованного ПБС. Так при отсутствии ПБС скольжение каждого из ведущих колес поочередно достигало 65 %. При использовании разработанной ПБС скольжение колес не превышало 7 %.

Методика расчета гидросистемы трансмиссии

Шевченко В.С.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Королькевич А.В., Бартош Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Гидравлические приводы управления механизмов трактора представляют единую централизованную систему с одним регулируемым насосом, который должен обеспечить надежное функционирование всех потребителей при оптимальном энергопотреблении.

Методика расчета включает вопросы определения рабочих режимов гидропривода и конструктивных параметров его элементов. Приводятся схемы и расчетные зависимости для оценки быстродействия механизмов, давления жидкости в любой точке системы, сопротивлений трубопроводов и гидроаппаратов, подачи смазки в различные узлы механизмов, потерь во всасывающей магистрали насоса. За основной методический принцип принят расчет потребного расхода жидкости каждым потребителем (гидроцилиндром, подшипниковым узлом или другим смазываемым механизмом). Для обеспечения потребного расхода в каждом случае производится расчет дросселя и давления настройки предохранительного клапана. При этом учитывается сопротивление подводящей гидролинии.

В случае одновременной работы нескольких механизмов во избежание пробуксовки фрикционов используется система приоритетного электрогидравлического управления.

Расчет потерь давления на участках системы смазки механизмов и всасывания насоса предполагает итерационный подход к выбору исходных параметров магистралей и жидкости (местные сопротивления, длина и диаметр трубопровода, вязкость жидкости). Не исключается и экспериментальный метод выбора параметров.

Таким образом, методика позволяет определять режимы и параметры гидропривода, обеспечивающие требуемые быстродействие механизмов, бескавитационную работу насоса, минимальное трение и износ механизмов трактора.

Горные машины

**Научная и педагогическая деятельность
члена-корреспондента АН БССР, профессора,
доктора технических наук Ф.А. Опейко**

Кислов Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Федор Александрович Опейко – крупный ученый-педагог и организатор научной школы в области прикладной механики. Родился 21 февраля 1908 г. в г. Минске. Окончил Московский торфяной институт (1932 г.). В 1952 году избран членом-корреспондентом АН БССР по отделению физико-математических и технических наук и утвержден в ученое звание профессора. Во время Великой Отечественной войны преподавал в Челябинском автотракторном техникуме и сотрудничал со специалистами в области танкостроения. В 1943–1949 гг. заведовал кафедрой «Начертательная геометрия и черчение» в Московском институте механизации и электрификации сельского хозяйства. В БПИ возглавлял кафедру «Разработка торфяных месторождений», а затем «Торфяные машины» (1949–1970 гг.). Кандидатскую диссертацию «Поворот гусеничного хода» защитил в 1939 г. В Институте машиноведения АН СССР защитил докторскую диссертацию «Некоторые вопросы фрикционных механизмов» по спец. «Динамика и прочность машин» (1948 г.).

Профессор Ф.А. Опейко создал новый раздел прикладной механики – математическую теорию трения, разработал теорию поворота гусеничного хода. Уделял много внимания теоретическим расчетам исполнительных органов машин и стационарного оборудования для переработки различных материалов. В основу расчетов положен метод оценки интенсивности деформаций как перерабатывающей способности устройств на стадии разработки их конструктивных схем, а также определения энергозатрат на измельчение, перемешивание, транспортирование и формование различных материалов. Разработал теорию прочности, оценил анизотропию трения, предложил теорию точности и автоматического регулирования процессами фрезерования пород.

Научная деятельность Ф.А. Опейко отражена более чем в 140 публикациях, в их числе монографии «Колесный и гусеничный ход», «Теория прочности», «Математическая теория тре-

ния»; издания «Расчетные напряжения», «Новые торфяные машины и перспективы развития торфяной промышленности»; учебник «Торфяные машины». Профессор Ф.А. Опейко подготовил 2 доктора и 55 кандидатов технических наук.

УДК 622.232(075.8)

Энергозатраты при заглаблении цепного бара в породе

Кислов Н.В.

Белорусский национальный технический университет

В практике горного производства нашли применение щеленарезные и дренажные машины с исполнительным органом в виде цепного бара. При заглаблении цепного бара эти машины находятся в стационарном положении или перемещаются с заданной поступательной скоростью.

Энергозатраты на сьем породы резцами бара при его заглаблении зависят от толщины снимаемого слоя, длины контакта режущей части бара с породой, скорости подачи бара, конструктивных параметров режущей части и режимов работы. Для оценки этих показателей получены аналитические зависимости и установлен характер изменения толщины снимаемого слоя, удельного сопротивления резанию, производительности и затрат мощности от угла наклона режущей части бара к его вертикальной оси. Выполнен анализ процесса заглабления одноцепного бара щеленарезной машины при следующих исходных данных: радиус поворота бара 3,4 м; глубина щели 1,8 м; ширина щели 0,07 м. В результате расчетов по полученным формулам угловая скорость поворота бара должна составлять $0,004 \text{ с}^{-1}$, частота вращения – 0,04 об/мин, скорость подачи резцов при их внедрении в породу – 0,82 м/мин. Толщина стружки по мере перемещения резцов к свободной поверхности уменьшается и лежит в пределах $(3,1-1,5) \cdot 10^{-3}$ м, что приводит к соответствующему увеличению удельных энергозатрат от 4,2 до 5,4 МПа и мощности от 2,28 до 26,4 кВт. Для щеленарезной машины ЭСФ-70 с трехцепным баром, перемещающейся со скоростью 0,82 м/мин, при угле наклона щели 75° и ее глубине 1,8 м суммарная потребляемая мощность составит 71,7 кВт, установленная мощность привода – 70 кВт.

**Системы разработки калийных месторождений:
технологические схемы, оборудование, эффективность**

Смычник А.Д., Морев А.Б., Васько М.В.
ОАО “Белгорхимпром”

Около 30 лет на рудниках РУП “ПО ”Беларуськалий” успешно применяется столбовая система разработки длинными забоями (лавами). За это время произошли существенные изменения начальных горно-технических условий отрабатываемого массива, возросла энерговооруженность, стоимость горношахтного оборудования без увеличения его реальной производительности, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях. Большие запасы калийной руды высокого качества остаются в целиках, отработка которых существующей технологией и оборудованием в настоящее время нерациональна или практически невозможна. Горные работы приближаются к зонам разломов, краевым зонам блочных структур массива.

Непрерывно совершенствуются технологии и оборудование камерных систем разработки. Комплексы в составе бурового или барабанного комбайна и мобильных транспортных систем обеспечивают при проведении очистных или подготовительных работ производительность до 1 миллиона тонн на одну машину в год, при среднемесячной – (80-90) тыс.т. При проведении подготовительных выработок производительность достигает 500-700 тонн в смену.

Получить приведенные показатели при разработке более твердых соляных пород Старобинского месторождения не представляется возможным. Однако, применение отработанных технологических и организационных процессов, а также увязанных в единый технологический комплекс высокопроизводительных проходческо-очистного комбайна и мобильных доставочных средств, а при необходимости и оборудования для анкерного крепления, обеспечит высокие технико-экономические показатели в сравнении с достигнутыми на калийных рудниках РУП “ПО ”Беларуськалий”. Наибольший эффект при разработке месторождений калийных солей может быть достигнут при рациональном сочетании столбовых и камерных систем разработки.

Частные случаи поворота гусеничной машины

Казаченко Г.В., Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Согласно общепринятой теории поворота гусеничных машин, основанной на работах профессора Ф.А. Опейко и развитой учениками его школы, кинематические и динамические параметры процесса поворота находятся после решения уравнений равновесия гусеничного хода под действием внешних сдвигающих сил и сил трения между гусеницами и опорной поверхностью. Система уравнений равновесия гусеничной машины при повороте существенно нелинейна. Ее решение возможно лишь в некоторых частных случаях при замене поля сил трения сосредоточенными силами или с использованием приближенных методов вычисления главных момента и вектора сил трения. В общем случае статического поворота уравнения равновесия решаются по приближенным формулам Ф.А. Опейко, или численными методами.

К наиболее важным, с точки зрения анализа влияния конструктивных параметров гусеничной машины на процесс поворота, относится простейший случай поворота, приближенное решение уравнений равновесия которого получено автором теории и широко используется в практических приложениях. Однако некоторые режимы статического поворота изучены недостаточно. Например, поворот с расположением центра вращения опорной ветви отстающей гусеницы в ее геометрическом центре, или на ее кромке. Такие режимы поворота особенно важны при работе гусеничных машин в стесненных условиях горных выработок.

В работе рассмотрены условия, при которых реализуются эти режимы, на основании анализа уравнений равновесия, составленных при разбиении опорных ветвей гусениц на три части. Рассмотрен также статический поворот, когда центр вращения опорной ветви отстающей гусеницы лежит на ее продольной оси, и найдены условия его реализации. Полученные результаты дают возможность выбирать величины внешних сдвигающих сил для обеспечения рассмотренных режимов поворота.

Система управления рабочими органами машины для уборки фрезерного торфа

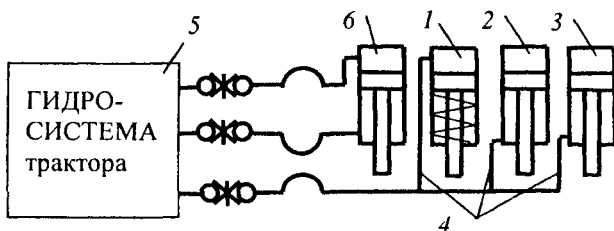
Басалай Г. А., Слесарчик П. П.

Белорусский национальный технический университет

Машина для уборки фрезерного торфа из продольных валков МТФ-43А, включает движитель, раму с прицепным устройством, скрепер с ковшовым элеватором, бункер с загрузочным колпаком и выгрузным люком, выполненным в боковой стенке бункера, выгрузной конвейер и привод рабочих органов. Недостаток конструкции в том, что конвейер создает значительные перегрузки в приводе при выгрузке торфа.

Цель - повышение надежности элементов привода и снижение энергозатрат на выполнение технологической операции.

Задача решается тем, что уборочная машина, имеющая гидроцилиндр 1 управления кулачковой муфтой включения выгрузного конвейера и гидроцилиндр 2 подъема скрепера, снабжена гидроцилиндром 3 открывания выгрузного люка. Рабочие полости трех гидроцилиндров соединены трубопроводами 4 между собой и подключены к гидросистеме 5 трактора. При включении выгрузного конвейера обеспечивается подъем скрепера и открывание выгрузного люка, а при отключении выгрузного конвейера происходит закрывание люка и опускание скрепера под собственным весом. Над выгрузным конвейером установлено жалюзийное устройство с гидроцилиндром 6. Шторки при уборке торфа закрыты, образуя горизонтальный настил.



Предлагаемая система позволяет в момент трогания с места и в процессе выгрузки торфа снизить пиковые нагрузки от работы выгрузного конвейера и ковшового элеватора.

**К вопросу оценки потерь давления
при пневмотранспорте торфа
на основе модели гомогенного течения аэросмеси***

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Противодавление в трубопроводе при течении гомогенной среды определяется величиной реализуемых тангенциальных напряжений, т.е. прежде всего характером зависимости вязкости движущейся среды от градиента скорости сдвига.

Обработкой экспериментальных данных по пневмотранспорту измельченного торфа получены зависимости “эффективной” вязкости аэросмеси от градиента скорости сдвига на стенке трубопровода. Эффективная вязкость определялась как вязкость ньютоновской жидкости, которая под действием на нее такого же перепада давления, как и на реальную аэросмесь, в трубопроводе одинаковых размеров имеет такой же расход, что и аэросмесь. Эффективная вязкость использовалась в качестве объекта анализа с учетом того, что торфовоздушная смесь представляет собой двухфазную систему.

Анализ зависимостей, полученных на основе расходных режимных параметров пневмотранспорта, показал, что эффективная вязкость аэросмеси нелинейно зависит от градиента скорости сдвига на стенке трубопровода. Наиболее существенно нелинейность проявляется с увеличением концентрации торфяных частиц. Для конкретной совокупности расходных режимных параметров пневмотранспорта существует соответствующее предельное значение расходной массовой концентрации, превышение которого приводит к нарушению гидродинамического режима течения аэросмеси. Поэтому применение гомогенной модели течения для определения потерь давления на пневмотранспорт измельченного торфа с использованием расходных, а не действительных режимных параметров пневмотранспортирования, затруднено.

**Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора Н.В.Кислова.*

**Влияние параметров рубильного барабана
на показатели процесса рубильной машины**

Таяновский Г. А., Хамицевич М. В.

Белорусский национальный технический университет

Решениями руководства страны определено, что торфодобывающими предприятиями Беларуси к 2012 году должен быть увеличен объем добычи торфа на топливные нужды до 1,2 млн. т условного топлива. Необходимо системное развитие торфодобычи, в том числе за счет производства мобильными машинными комплексами топливной щепы из сводимой растительности при подготовке и ремонте производственных площадей, из выращиваемой быстрорастущей древесины и из запасов пней древесины.

Выполнены работы по выбору конструктивного решения и параметров рубильной машины, базовая модель которой изготовлена на Минском тракторном заводе. Универсальность машины целесообразно повысить для обеспечения переработки на месте скорчеванных пней с оставшимися пристволовыми частями корневой системы. Поэтому приемный аппарат рубильной машины дополнен разработанным приспособлением, с целью улучшения захода измельчаемого материала в зону эффективного дробления. Прогнозирование показало, что передвижные рубильные машины с барабанным режущим органом по показателю удельной производительности к 2010 году должны иметь значения $0,46 \text{ м}^3/\text{ч/кВт}$.

Разработано программное приложение расчетного анализа рубильной машины с барабанным рабочим органом. Исследовано влияние числа ножей в плоскости резания, вылета резцов и толщины материала на длину щепы. Установлено, что потребная мощность и производительность рубильной машины линейно зависят от числа ножей в плоскости резания, длина щепы прогрессивно возрастает с увеличением вылета ножей, с увеличением толщины пачки древесины в приемном порту прогрессивно растет мощность на измельчение. Полученные результаты позволили решить задачу параметрической оптимизации рубильной машины для условий торфоразработок.

**Динамическая нагруженность трактора
с навесным фрезформовочным оборудованием
в транспортном режиме**

Таяновский Г.А., Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

В работе выполнен анализ влияния параметров оборудования, привода, шин, элементов поддрессоривания трактора и сиденья водителя, микропрофиля проездов на торфяных полях на показатели эксплуатационных свойств машинно-тракторного агрегата на базе трактора МТЗ-1221, в разработке которого принимали участие авторы данной работы, во время трогания, разгона и движения с установившейся скоростью при транспортном положении фрезформовочного оборудования. Реализована на ПЭВМ математическая модель фрезформовочного агрегата.

Из анализа качества процесса следует, что при трогании и разгоне до момента кинематического замыкания муфты сцепления двигатель может выходить на внешнюю ветвь скоростной характеристики. Наблюдается бросок продольного ускорения, значительное перераспределение нормальных нагрузок и тяговых усилий между ведущими мостами. Возникает пиковый крутящий момент в приводе переднего ведущего моста (ПВМ) и отрицательные значения момента на задних колесах. После окончания разгона колеса переднего моста становятся отстающими из-за наличия кинематического несоответствия в заблокированном межосевом приводе.

При движении по случайной торфяной дороге на транспортных переездах при скорости 15 км/час динамические нагрузки шин и балки ПВМ не более чем в 1,4 раза превышают статические, динамические нагрузки рукавов полуосей ЗВМ превышают статические не более чем на 63 %, а уровень среднеквадратических ускорений (2.4 м/с^2) на сиденье водителя во второй октавной полосе частот близок к предельно допустимому санитарными нормами. Догрузка трактора штатным комплектом передних балластных грузов улучшает динамику разгона и нагружения ходовой системы.

Алгоритм оптимизации режимов и параметров работы пневмоуборочной машины

Казаченко Г.В., Джелилов Д.Б.

Белорусский национальный технический университет

Для уборки фрезерного торфа используются прицепные и самоходные пневмоуборочные машины, работающие по всасывающей схеме. При оптимизации режимов работы таких машин в качестве целевой функции можно взять бункерную производительность и сформулировать задачу оптимизации следующим образом: найти значения скоростей воздушного потока v_{ac} и движения машины v , обеспечивающие максимальные значения бункерной производительности Q_b , м³/с. Тогда целевая функция

$$Q_b(v_{ac}, v) = qbv(k_0 + c_0v_{ac} - c_1v)(\eta_0 - c_2v_{ac}),$$

где v, v_g - скорости движения машины и скорость воздуха во всасывающей щели сопла, м/с; q - масса фрезерного торфа на единице площади, кг/м²; b - ширина захвата, м; $k_0, c_0, c_1, c_2, \eta_0$ - экспериментальные константы.

Значения скоростей v_g и v не могут быть произвольными, т.к. по физическому смыслу задачи на них наложены ограничения: скорости только положительные: $v_g > 0$; $v > 0$; скорость воздуха должна обеспечивать отделение материала от залежи, т.е. $v_g > v_0$, где v_0 - скорость воздуха, обеспечивающая отрыв материала от залежи, м/с. Необходимо, чтобы скорость воздуха в трубопроводах обеспечивала устойчивое транспортирование материала. Основное ограничение - по мощности N_d двигателя машины: $N_n + N_g \leq N_d$, где N_n и N_g - мощности для передвижения машины и на привод вентилятора.

Для выбора скоростей v_g и v , обеспечивающих максимальную бункерную производительность Q_b , реализован алгоритм в виде Паскаль-программы с использованием метода покоординатного спуска-подъема.

**Качение пневматического колеса по торфяной
поверхности в случае смещения оси вращения
относительно центра поворота**

Горбутович Ю.Г., Горбутович В.Г.

Белорусский национальный технический университет

При криволинейном движении колесных машин оси вращения некоторых колес не проходят через центр поворота машины. В этом случае на колеса со стороны опорной поверхности действуют дополнительные силы, которые могут оказать существенное влияние на силовые и кинематические характеристики процесса поворота. Для анализа этого явления выделяется отдельный эластичный диск толщиной b и рассматривается его качение по деформируемой поверхности в случае смещения оси вращения относительно центра поворота.

В результате проведенных аналитических исследований получены формулы для определения боковой реакции

$$S = cb\sqrt{2rh}(h/(h+m))\left[0,75(rh/R)(1-\varepsilon)(1+1,33k) - 0,5\Delta R(1+k) + 0,5(d/R)\sqrt{2rh}(1-\varepsilon)(1-k^2)\right]$$

и стабилизирующего момента

$$M_c = cbrh\left[0,5(rh/R)(1-\varepsilon)K - 0,3\Delta R(K - 4k^2) + 0,3(d/R)\sqrt{2rh}(1-\varepsilon)(K - 4k^2)\right],$$

возникающих при криволинейном качении эластичного диска по деформируемой поверхности для случая смещения оси его вращения относительно центра поворота. Здесь c – коэффициент, учитывающий упругие свойства грунта, γ_s – коэффициент боковой эластичности диска, u – максимальная деформация эластичного диска, h – глубина погружения диска в грунт, d – смещение оси вращения относительно центра поворота, $K=(h+2m)/(h+m)$ и $m=Q/\gamma_s$ – коэффициенты, Q – нагрузка на диск, R – радиус поворота диска.

Полученные формулы для диска позволяют рассмотреть и качение пневматических колес по торфяной поверхности.

О добыче торфа на месторождениях малой мощности

Горбутович В.Г., Горбутович Ю.Г., Темирова Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Постепенная выработка крупных торфяных месторождений приводит к тому, что хотя запасы торфа в республике довольно значительны все большую долю в них занимают небольшие по площади и объему месторождения. На них нецелесообразно организовывать добычу фрезерного торфа по традиционной схеме из-за их незначительных размеров и большой удаленности от торфоперерабатывающих производств. В связи с вышесказанным, с растущей потребностью в коммунально-бытовом местном топливе, с наличием на всей территории республики также значительных запасов отходов лесоперерабатывающей, льняной, бумажной и других видов промышленности, имеющих большой энергетический потенциал, возникает вопрос об их использовании в качестве топлива.

Перспективным направлением получения коммунально-бытового топлива следует считать развитие добычи кускового торфа и возможное получение композитного топлива на основе торфа с добавками отходов некоторых производств.

Для добычи кускового торфа на месторождениях малой площади можно рассмотреть несколько технологических схем.

1. Карьерный с применением многоковшовых экскаваторов типа МТК-14 и стилочных машин. Он рассчитан на значительные объемы производства и применялся на крупных месторождениях. Используемая техника металлоемкая и дорогостоящая.

2. Щелевой с применением прицепных к гусеничным тракторам машин для экскавации, переработки и выстилки кускового торфа типа МТК-12, МТК-15, МТК-18, АНБ-501 и других. Производство машин такого типа в республике не налажено.

3. Применявшийся на ряде предприятий центральной России карьерный комплекс ППМ, состоящий из одноковшового экскаватора с дисковым сепаратором, бункером-накопителем и выдающим конвейером, а также стилочной машины ДС.

Второй и третий варианты наиболее простые и могут быть реализованы различными схемами производства кускового и композитного топлива, которые рассмотрены в докладе.

Рациональные параметры роликовых прессов для получения органоминеральных гранул

Ринкевич В.П.

Белорусский национальный технический университет

В известных методиках выбор рациональных параметров грануляторов производят по критериям: максимальной производительности, обеспечения требуемого времени выдержки гранулы в канале матрицы, минимума удельных энергозатрат.

До настоящего времени не решены задачи целесообразного выбора параметров матрицы и отверстий при заданных рецептуре органоминерального гранулированного удобрения или корма для животных, размерах и прочности гранул.

В работе получены обобщенные выражения для выходных показателей роликовых грануляторов, в которых в явном виде присутствуют характеристики перерабатываемой смеси исходных материалов. Выполнено машинное исследование влияния коэффициентов трения f_1 и f_2 компонент гранулируемой смеси на оптимальное соотношение диаметров ролика и кольцевой матрицы $K_{конм}$ (рисунок 1).

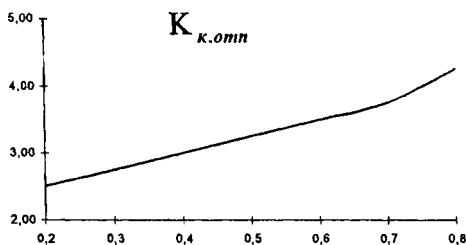


Рисунок 1 – Зависимость $K_{конм}(f + f_1)$

Полученные выражения позволяют развивать методические положения выбора основных параметров роликовых грануляторов с учетом свойств и состава гранулируемой органоминеральной смеси по комплексному критерию достижения максимальной производительности и требуемого качества гранул.

**Автоматизированная система контроля
горного давления в очистных забоях**

Романович А.С.

Белорусский национальный технический университет

Для рудников РУП «ПО «Беларуськалий» разработана и с 2000 г. внедрена в промышленную эксплуатацию автоматизированная система управления и контроля горного давления в кровле (КоДаК) очистных забоев. На данный момент системой оснащено (единовременно) 25 лав на рудниках Старобинского калийного месторождения, а с момента внедрения – около 40 лав. КоДаК является системой, работающей в реальном масштабе времени, и обеспечивает непрерывный контроль давления жидкости в поршневой полости гидростоек линейных секций механизированной крепи. Полученные данные фиксируются программно-аппаратными средствами, автоматизировано обрабатываются и «выдаются» персоналу в виде динамических мнемосхем, графиков и экранных форм на компьютерные средства. Одновременно производится формирование электронной версии базы данных. КоДаК позволяет на принципиально новом технологическом уровне решать задачу прогнозирования процесса развития горного давления в кровле лав, которую можно условно классифицировать на три уровня: оперативный анализ и прогноз опасного обрушения кровли за время текущего технологического цикла работы комбайна (время не более 3 часов от рассматриваемого момента); анализ и прогноз процесса развития горного давления в кровле за несколько технологических циклов (смена, сутки от рассматриваемого момента); анализ процесса развития горного давления за макро промежутки времени (несколько суток, месяц, весь срок эксплуатации лавы).

Задачи можно рассматривать как отдельные и, в идеале – связанные друг с другом на дальнейших этапах решения.

Полученные с помощью КоДаК результаты позволяют более достоверно понять процесс формирования давления в кровле очистных забоев с позиций статистической оценки макропроцесса. Это дает возможность создать принципиально новый подход к проблеме управления горным давлением и безопасного движения очистных механизированных комплексов.

**Оценка показателей работы проходческих комбайнов
в условиях РУП «ПО «Беларуськалий»***

Губчик А.Н., Зубрицкий Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Проведение подземных горных выработок комбайнами является наиболее прогрессивным, т.к. обеспечивает высокую скорость проходки и максимальную механизацию работ при значительном упрощении организации и повышении безопасности труда рабочих. На Старобинском месторождении применяются проходческие комбайны Урал-10А, ПК-8МА и ПКС-8М. Они используются в составе проходческих комплексов как для добычи полезного ископаемого камерным способом, так и при подготовке шахтных полей для очистных комплексов.

Цель работы - оценка эксплуатационных показателей комбайнов Урал-10А и ПКС-8М на основе результатов работы комбайновых бригад ПО "РУП "Беларуськалий" и сравнение с теоретическими. Первичной информацией явились книги нарядов на одном из участков и сводная таблица с показателями работы комбайновых бригад за год. За основные показатели взяты: среднегодовой показатель; норма проходки очистных ходов; среднесуточный показатель выработки, план и факт; норма проходки. Фактическая производительность даже в передовых бригадах в 2,5 раза ниже, а средние показатели ниже почти в 4 раза по сравнению с техническими возможностями машин. Причинами такого различия являются простои комбайнов в связи с цикличностью процесса доставки руды, большие затраты времени на отгоны и перегоны, работа комбайнов с низкой минутной производительностью при зарубке камер, расширении и подрубке с неполным использованием сечения рабочего органа.

Основными путями повышения эффективности комбайновой выемки являются: разработка и внедрение поточной технологии; модернизация исполнительных органов комбайнов и повышение эффективности резания горной породы; создание и внедрение новых, более производительных машин; совершенствование организации труда.

**Работа выполнена под руководством Г.А. Басалая*

Двигателестроение

**Длительные испытания дизельного двигателя
производства УП «ММЗ» с системой впрыска
CRS BOSH**

Баранов С.В.

Белорусский национальный технический университет

Принципы развития промышленных предприятий подчиняются законам рыночных отношений – для прогрессивного выживания в условиях жесткой конкуренции необходимо выпускать более экономичную, более надежную, соответствующую современным экологическим нормам, а значит и более конкурентоспособную продукцию. Одной из последних наиболее наукоемких и перспективных разработок в Республике Беларусь стало внедрение на дизелях Минского моторного завода аккумуляторной системы Common Rail производстве Bosh.

Работа по внедрению данной системы в серийное производство ведется уже более 3 лет, и одной из важнейших сторон внедрения в массовое производство и получение гарантии на двигатель с электронной системой управления являются длительные испытания на надежность.

Всем известно насколько требовательны к чистоте топлива современные дизельные системы и что отечественное топливо, распространяемое через НПЗ и АЗС, неблагоприятно сказывается на надежности работы дизельной топливной аппаратуры. В данной работе представлены первые наработки, рекомендации и результаты длительных испытаний трактора МТЗ 2022.3 в отечественных условиях после наработки в 1000 моточасов в хозяйстве Брестской области СПК «Междулесье».

Представлены фотографии основных узлов системы Common Rail подвергшихся абразивному износу вследствие использования топлива с недостаточной степенью очистки, а также описана проблема периодического ТО в хозяйствах по замене основных фильтрующих элементов, как на шасси, так и на самом двигателе. Исследование компонентов системы Common Rail после длительных испытаний проводилось специалистами фирмы BOSH Group в лаборатории BOSH Group Штутгарт (Германия).

Памятные страницы истории двигателя внутреннего сгорания

Бренч М.П., Хаткевич Р.Л.

Белорусский национальный технический университет

Изобретение и производство двигателей внутреннего сгорания (ДВС) послужили в свое время основой своеобразной промышленной революции. Если системно проследить зарождение научно – технических основ появления ДВС, то, пожалуй, первой можно назвать фамилию итальянца Э.Торричелли, доказавшего существование атмосферного давления. Но все достижения науки и практики должны были аккумулироваться когда – то в конструкции ДВС. В современных учебниках по двигателестроению и пособиях по истории техники и технологий первым автором практически пригодного ДВС признают француза Э.Ленуара, забывая о работах французов братьев Ньепсов. Жозеф Нисефор и Клод Ньепсы. В 1807 году получили патент на устройство, которое они назвали *rueolophore*. В патентном формуляре было написано: пирэолофор, или новая машина, двигательным принципом которой является воздух, расширяемый огнем. Патентным экспертом пирэолофора был Лазар Карно. Его сын Никола Леонар Сади Карно был лично знаком с изобретателями и в своей единственной и до сих пор известной научной работе «Размышления о движущей силе огня» (1824 г.) описал работу машины Ньепсов. Это безусловно есть двигатель внутреннего сгорания. Такого названия в то время просто не существовало. И, по научным традициям того времени, братья дали название своей машине, составив его из трех греческих слов: пир – огонь, эол – ветер или расширение и фор – несу, произвожу.

Изобретатели делали энергичные попытки ввести пирэолофор в практику. До 1811 г. они применили его на речном катере, который двигался по реке Соне.

Братья Клод и Жозеф Нисефор Ньепсы были пионерами идеи двигателя внутреннего сгорания и её первого воплощения. Они на 50 лет опередили конструкторские разработки Э.Ленуара и на 90 лет – предложения Р.Дизеля. Но их изобре-

ние не могло развиваться в условиях победного шествия паровой машины в промышленности и на транспорте.

УДК 621.431.73.004.58

Диагностирование двигателя по графикам мгновенной частоты вращения коленвала

Бармин В.А., Полетаев Е.О., Матюшенко А.В.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время для управления бензиновыми и дизельными двигателями применяются электронные системы управления двигателем (ЭСУД). Для оптимизации работы двигателя на различных скоростных и нагрузочных режимах, ЭСУД использует значительное количество датчиков. Некоторые из этих датчиков используются для технического диагностирования ДВС.

Как правило, значения отдельных параметров двигателя в условиях эксплуатации диагностируется с помощью сканеров, которые позволяют определять значения параметров на конкретных режимах работы двигателя и соответствие этих значений, значениям этих параметров установленных заводом-изготовителем и отраженных в ТД.

Используемые значения параметров не всегда отражают качественную картину возникших неисправностей и требуют проведения дополнительных исследований. С точки зрения влияния отдельных неисправностей на качественную картину изменения некоторых параметров в зависимости от угла поворота коленвала (ПКВ) может использоваться частота вращения коленвала (ЧВ КВ).

Одним из предлагаемых методов диагностирования неисправностей ДВС может служить метод анализа графиков частоты вращения коленвала двигателя.

Метод анализа графиков мгновенной частоты вращения коленвала двигателя может использоваться при его диагностировании и выявлении неисправностей. Этот метод применим не только для бензиновых, но и для дизельных двигателей с электронной системой управления. Применение данного метода наряду с другими методами позволяет сократить время поиска неисправностей и увеличить достоверность диагностирования двигателей.

Применение окислителей высокой активности в рабочем процессе высокофорсированного дизеля

Вершина Г.А., Пилатов А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В условиях и мирового энергетического и экологического кризиса не прекращаются попытки поиска и описания способов осуществления когерентных методов теплопередачи в окружающем пространстве и на основе их управляемого сгорания в двигателях внутреннего сгорания

Анализ существующих методов воздействия на рабочий процесс показал, что большинство из них направлено на структурные преобразования протекания предпламенных реакций в цилиндре дизеля.

Исходя из проведенного анализа работ, целями исследований явились поиск физико-химических принципов развития цепных реакций окисления углеводородов в цилиндре и экспериментальная проверка установленных закономерностей.

Результаты экспериментальных исследований были обработаны на основе методов математической статистики с помощью стандартных пакетов MS Excel и Mathematica 5.0. В результате обработки экспериментальных данных можно констатировать следующее:

1. Уровень энергозатрат на работу озонатора составил 150-180 Вт. Определение энергозатрат на выработку озона в разрядном промежутке экспериментального озонатора ВП-1 производился по специально разработанной методике.

2. Удельный эффективный расход топлива за вычетом энергозатрат на работу озонатора снизился на 2-3 г/кВт*час.

3. Дымность отработавших газов, измеряемая по оптическому методу уменьшилась на 3-5 %

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показывают возможность улучшения экономических и экологических характеристик двигателя за счет управления скоростью реакций на микроуровне в околокапельном пространстве посредством окислителей повышенной химической активности, в частности озона.

**Исследование течения топлива в сопловых отверстиях
распылителя**

Гершань Д.Г.

Белорусский национальный технический университет

Структура течения топлива в сопловых отверстиях распылителя оказывает непосредственное влияние на характеристики выходящих из них топливных струй. Поэтому важно знать, как влияют параметры сопловых отверстий на структуру течения топлива в них.

Исследование течения топлива в сопловых отверстиях производится либо с помощью специальных экспериментальных установок, либо с помощью компьютерного моделирования с использованием CFD-программ.

Исследование с использованием первого метода является довольно сложным и дорогим. Оно требует специальных высокоскоростных видеокамер и распылителей из прозрачного материала.

В данной работе исследование течения проводилось с помощью компьютерного моделирования. Течение топлива моделировалось с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии топлива.

Проведенное компьютерное моделирование течения в сопловых отверстиях распылителя позволило визуально наблюдать распределение основных параметров течения в них. И на основании этого распределения сделать наиболее важные выводы по изготовлению и взаимному расположению сопловых отверстий. Сопловые отверстия моделировались со скруглением входных кромок и без скругления, оси сопловых отверстий пересекались в одной точке на оси распылителя и не пересекались по оси распылителя.

Созданная компьютерная модель системы распылитель-течение позволяет оперативно изменять основные параметры впрыска, геометрию носка распылителя, параметры сопловых отверстий. Это дает возможность подбирать нужную структуру течения топлива, которая во многом и определяет характеристики топливных струй.

Решение системы дифференциальных уравнений в Mathcad с целью профилирования кулачка ТНВД

Жуковец В.Н.

Белорусский национальный технический университет

При решении задачи о вычислении радиуса кривизны профиля кулачка можно придти к следующей системе дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dH}{d\varphi} = H \cdot \operatorname{tg}\gamma \\ \frac{d\gamma}{d\varphi} = 1 - \frac{H \cdot K}{\cos\gamma} \end{cases}$$

где $H(\varphi)$ - расстояние между осями вращения кулачка и ролика, мм; $\gamma(\varphi)$ - угол давления кулачка на ролик, радианы; $K(\varphi)$ - кривизна линии, эквидистантной профилю кулачка, 1/мм; φ - угол поворота кулачкового вала, радианы. Выполнив ряд преобразований исходной системы, можно получить следующее дифференциальное уравнение:

$$K \cdot \gamma''_{\varphi\varphi} - K \cdot \operatorname{tg}\gamma \cdot (\gamma'^2_{\varphi} - 1) - K'_{\varphi} \cdot \gamma'_{\varphi} = -K'_{\varphi}$$

Полученное нелинейное неоднородное уравнение второго порядка имеет решение из суммы частных решений:

$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$, где γ_1 - решение однородного уравнения:

$$K \cdot \gamma''_{1\varphi\varphi} - K \cdot \operatorname{tg}\gamma_1 \cdot (\gamma'^2_{1\varphi} - 1) - K'_{\varphi} \cdot \gamma'_{1\varphi} = 0.$$

Частное решение в виде $\gamma_2 = \varphi + A$ удовлетворяет при любом виде правой части, где A - постоянная величина, определяемая начальными условиями. Для нахождения решения γ_1 воспользуемся подстановками вида: $y(x) = \sin \gamma_1$; $x = \varphi - \varphi_0$. Здесь величины y и x являются лишь параметрами подстановки, не связанными с декартовой системой координат. В результате получаем линейное уравнение:

$$K \cdot y''_{xx} - K'_x \cdot y'_x + K \cdot y = 0.$$

Данное уравнение можно решить аналитически.

Проблемы конструирования составных головок блока цилиндров

Жуковец В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Головка блока цилиндров относится к неподвижным деталям двигателя и является одной из самых нагруженных. Основная проблема состоит в том, что на головку наиболее серьезное воздействие оказывают напряжения теплового происхождения. При достаточной жесткости головки и приемлемом уровне напряжений от механических нагрузок предпочтение следует отдавать тонкостенным конструкциям. Однако получение тонких стенок не всегда возможно при существующих технологиях литья. Для решения указанных задач целесообразно использовать опыт тепловозных и судовых дизелей, когда головку делают составной: нижняя часть – огневое днище, верхняя часть – прижимная в виде фланца с уплотнительным пояском. Подобная конструкция головки ведет к значительному упрощению технологии (переход от стержневого литья к литью в кокиль), снижению процента брака, экономии материала и энергоресурсов.

Данное направление в технологии все шире начинает применяться при производстве автомобильных двигателей в Германии. Например, составная головка фирмы “Bosch” включает в себя нижнюю (жаровую) металлическую часть и верхнюю (для удержания охлаждающей жидкости) из полиамида PA66 со стекловолокном и минеральными усилителями. Эта головка устанавливается на 6-цилиндровом автомобильном дизеле BMW535a. Также значительный интерес представляет разработанный фирмой “Porsche” метод изготовления головки из двух частей, при котором верхняя часть изготавливается из стандартного сплава $AlSi9Cu3$, а нижняя часть с большими термомеханическими нагрузками отливается из жаропрочного сплава $AlCu5Ni1,5CoSbZr$. Эта часть головки, не содержащая Si, может отливаться в кокиль. Также представляет интерес использование вставок из жаропрочного чугуна в днище головки, что пока нашло применение главным образом в малоразмерных судовых дизелях.

**Использование растительных масел и их производных
в качестве альтернативных топлив для дизелей**

Зеленков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием мирового двигателестроения. На фоне общей динамики цен на энергоресурсы, ограниченности запасов нефти, обострения экологической ситуации на планете все большую популярность на транспорте приобретают альтернативные топлива из возобновляемых источников энергии. Для европейских стран такой альтернативой являются топлива на основе рапсового масла и его эфиров.

Физико-химические свойства таких топлив близки к стандартному дизельному (теплотворность, плотность, цетановое число). В то же время значительная вязкость (особенно при отрицательных температурах) и химическая агрессивность к некоторым материалам ограничивает их применение в чистом виде для дизелей без существенных конструктивных и регулировочных изменений в системе топливоподачи.

Так, корректная работа дизеля на чистом рапсовом масле предполагает применение нового распылителя, изменение угла опережения впрыскивания топлива и давления впрыска, корректировку цикловой подачи, установку автоматизированной системы подогрева топлива. Также необходимо отметить факт уменьшения срока службы топливных фильтров, вызванный наличием большого количества микроорганизмов в топливах растительного происхождения.

Поэтому, на сегодняшний день распространение получили смеси рапсового масла и его эфиров со стандартным дизельным топливом. Результаты испытаний дизеля Д-245С, работающего на смеси дизельного топлива и 5% метилового эфира рапсового масла со стандартными регулировками топливной аппаратуры, показывают, что мощностные и экономические показатели, параметры топливоподачи и процесса сгорания практически не изменяются по сравнению с дизельным топливом.

Применение методологии теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) в двигателестроении

Ивандиков М.П.

Белорусский национальный технический университет

В промышленно развитых государствах 80-95% прироста ВВП приходится на долю новых знаний, воплощенных в технике и технологиях. ТРИЗ - уникальный инструмент для поиска нетривиальных идей, выявления и решения творческих проблем, выбора перспективных направлений развития техники, технологии и снижения затрат на их разработку и производство, развития творческого мышления, формирования творческой личности и коллективов. Эта теория в последние годы стала популярной в США, Канаде, Японии, Израиле и ведущих странах Европы и Юго-Восточной Азии.

В основе ТРИЗ лежит положение, что развитие технических систем осуществляется через возникновение и устранение технических противоречий между частями системы, либо между системой и внешней средой. Поэтому объектом решения изобретательской задачи всегда является "физическое противоречие", когда к одной и той же части системы предъявляются взаимопротиворечивые физические требования.

Физическое противоречие устраняется известными в литературе приемами с использованием справочника эффектов (физических, химических, геометрических и др.).

Автором была поставлена задача о возможности исключения знакопеременных инерционных сил в механизме преобразования движения поршня, для изменения объема цилиндра, во вращательное движение вала отбора мощности.

Синтез механизмов показал различные варианты решений. Наилучшим оказался вариант, в котором один ротор (поршень) должен вращаться, ограничивая объем кольцевой камеры сгорания с одной стороны, а второй ротор, ограничивающий объем камеры сгорания со второй стороны, одновременно должен обеспечивать своей формой бесконтактное прохождение фазы геометрического взаимопересечения. Поставленная задача решена и методология ТРИЗ позволяет правильно ставить и решать возникающие технические противоречия.

**О применении SolidWorks в исследовательских
и конструкторских экспресс-разработках**

Ивандиков М.П.

Белорусский национальный технический университет

SolidWorks даёт каждому конструктору возможность использовать на своём рабочем месте последние достижения САД-технологий для разработки сложных деталей и сборок.

Проектирование с помощью SolidWorks является для конструктора интуитивно простым и удобным, полностью соответствующая его привычным навыкам и методам работы. Открытая архитектура системы позволяет легко интегрировать ее с ведущими расчетными и технологическими системами.

Автор, занимаясь синтезом механизмов преобразования движения поршня, для изменения объема цилиндра, во вращательное движение вала отбора мощности, получил возможность быстро проектировать и анализировать варианты конструкций.

Свойства сборки SolidWorks позволили не только оценить геометрию, но и имитировать движение создаваемого проекта. Движение элементов конструкции отслеживается от исполнения к исполнению.

Простота интерфейса, высокая скорость освоения, широкие возможности моделирования — как твердотельного, так и гибридного (сочетание твердотельного и поверхностного) — являются общеизвестными достоинствами этого программного продукта.

В результате моделирования в SolidWorks определены оптимальные геометрические и массовые параметры элементов конструкции. Рассмотрены десятки варианты конструкций.

При необходимости изготовления экспериментального образца возможно применение для дальнейшей работы генерации управляющих программ для станков с ЧПУ.

Существует несколько партнерских программ, которые благодаря прямой передаче данных из SolidWorks позволяют организовать параллельную работу проектировщика оснастки и программиста ЧПУ. Выигрыш в производительности, точности и времени изготовления очевиден.

Моделирование углового расположения осей сопловых отверстий

Кухаренок Г.М., Гершань Д.Г.

Белорусский национальный технический университет

При расчете углового расположения осей сопловых отверстий на носке распылителя изначально необходимо согласовать выходящие из них топливные струи (их характеристики и расположение) с принятым способом смесеобразования, формой и размерами камеры сгорания, интенсивностью и формой вихря.

После того как определили характеристики топливных струй и их положение в камере сгорания, рассчитываются углы в плане и углы наклона к оси распылителя сопловых отверстий. Они определяются математическим пересчетом углового положения струй в камере сгорания в систему отсчета распылителя или с помощью САД-систем. Это необходимо лишь при наклонном или смещенном положении форсунки относительно оси камеры сгорания.

Наклонное расположение форсунки и ее смещение относительно оси камеры сгорания определяют различное угловое расположение сопловых отверстий, которое приводит к отличиям в течении топлива в каждом сопловом отверстии, через каждое отверстие подается свое количество топлива, причем в одни отверстия топливо поступает раньше, а в другие – позже, и подача топлива через каждое отверстие заканчивается в свое время. Это связано с тем, что угол наклона соплового отверстия к оси распылителя определяет угол входа топлива в отверстие, место входа, форму входной и выходной кромок и, кроме того, влияет на положение отверстия в носке распылителя, а также на прочность носка.

Углы должны подбираться такими, чтобы каждое сопловое отверстие формировало топливную струю с характеристиками соответствующими ранее рассчитанным для обеспечения качественного смесеобразования в данных условиях. Для этого необходимо заранее с помощью САД, САЕ-систем определить влияние углового расположения сопловых отверстий на структуру течения топлива в них. Далее корректировать уже рассчитанное угловое расположение сопловых отверстий.

Моделирование рабочего процесса дизеля с учетом распределения топлива в камере сгорания

Кухаренок Г.М., Петрученко А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Одним из способов совершенствования рабочего процесса дизелей является равномерное распределение топлива в объеме камеры сгорания. Это достигается за счет увеличения количества сопловых отверстий и уменьшения их диаметра, что в свою очередь улучшает мелкость распыливания топлива. Доля топлива испарившегося в объеме камеры сгорания определяется также законом его подачи, размерами камеры сгорания и интенсивностью вихревого движения воздушного заряда в цилиндре двигателя. Увеличить количество топлива испаряющегося в объеме можно за счет рационального выбора расположения топливных струй, и роста их длины за счет размеров камеры сгорания, что стало особенно актуальным при применении топливоподающих систем, обеспечивающих высокую дальность топливных струй.

Для создания опытных образцов распылителей и проведение испытаний требуется значительные ресурсы. Оценить эффективность предлагаемых решений можно с помощью математической модели, адекватно описывающей испарение и выгорание распыленного в цилиндре дизеля топлива.

Получены зависимости, позволяющие проводить оценку влияния давления наддувочного воздуха, продолжительности и угла начала впрыска топлива, длины свободного развития, количества и расположения топливных струй многосопловых распылителей на показатели тракторного дизеля. Установлено, что с увеличением длины топливных струй улучшаются индикаторные показатели двигателя при росте содержания окислов азота в отработавших газах. Увеличение количества сопловых отверстий при неизменном эффективном проходном сечении распылителя ведет к улучшению топливной экономичности и повышению среднего индикаторного давления, при этом происходит незначительное снижение содержания окислов азота. Определены диаметр и глубина камеры сгорания тракторного дизеля, обеспечивающие увеличение доли объемного смесеобразования.

Кинематика поршня в аксиально-поршневом двигателе

Лепешко И.И., Бармин В.А., Романенко М.В.

Белорусский национальный технический университет

В аксиально-поршневом двигателе сила от давления газов на поршни через шатуны воздействует на качающуюся шайбу, вызывая ее сферическое движение относительно оси выходного вала (ВВ). Для обеспечения сферического движения шайбы могут применяться шарнир Кардана, или пара конических колес. При применении шарнира Кардана наблюдается искажение сферического движения. В случае применения пары зубчатых колес будет наблюдаться сферическое движение шайбы по законам регулярной прецессии - все точки экваториальной плоскости, равноудаленные от центра экваториальной плоскости, будут двигаться по одинаковым траекториям в форме пространственных восьмерок уложенных на сферу.

Кинематика произвольно выбранной точки шайбы определяется уравнениями перемещения, скорости, ускорения точки в зависимости от угла поворота ВВ. Кинематика поршня, учитывая, что центр сферического соединения шатуна и шайбы расположен в экваториальной плоскости, определяется при известных значениях – частоты вращения ВВ, угла наклона шайбы, положения центра сферического соединения шатуна и шайбы, длины шатуна, положения оси цилиндров относительно оси ВВ. В расчетах можно пренебрегать отклонением шатуна от его оси первоначального положения, тогда, рассматривая движение поршня относительно верхней мертвой точки, кинематика определяется уравнениями кинематики схожими с уравнениями кинематики поршня с кривошипно-шатунным механизмом, за исключением второй гармонической составляющей.

$$s(\varphi) = \frac{S}{2}(1 - \cos(\varphi)); \quad v(\varphi) = \frac{S}{2}\omega \sin(\varphi); \quad a(\varphi) = \frac{S}{2}\omega^2 \cos(\varphi).$$

Таким образом, кинематика поршня АПД близка к гармоническим зависимостям. Поршень в крайних своих положениях находится одинаковое количество времени.

**Особенности холодного пуска
дизелей, оборудованных аккумуляторными системами
топливоподачи с электронным управлением**

Марчук А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение удовлетворительных пусковых свойств дизельных двигателей в настоящее время является важной задачей в связи с наметившейся тенденцией сокращения УОВТ при работе под нагрузкой для снижения выбросов NO_x . В таких условиях возможности систем с механическими ТНВД по обеспечению надежного пуска серьезно ограничены.

Применение системы Common Rail позволяет решить указанную проблему за счет более широких возможностей топливоподачи и электронного управления, обусловленных особенностями системы, являющихся ее несомненными достоинствами.

К достоинствам следует относить:

- мгновенное вычисление оптимального УОВТ для заданных условий работы двигателя, впрыскивание топлива под высоким давлением и высокую точность параметров впрыскивания;
- возможность ступенчатого увеличения цикловой подачи на режиме пуска до появления устойчивого сгорания;
- независимость давления впрыскивания от частоты вращения;
- снижение мощности потребляемой НВД за счет регулирования давления путем дросселирования потока топлива в секции низкого давления;
- управление напряжением свечей накаливания для продления срока их службы и уменьшения выбросов белого дыма;
- управление системой вспомогательной топливоподачи в соответствии с реальными условиями запуска.

Ограничения: при значительном (ниже 8В) падении напряжения питания БЭК происходит выключение системы - запуск не происходит. При частоте вращения ниже 125 мин^{-1} сигнал на впрыскивание не выдается – двигатель не запускается.

Таким образом, система топливоподачи Common Rail с электронным управлением предоставляет несравнимо большие возможности по организации качественного и надежного пуска дизелей.

**Мероприятия по улучшению пусковых качеств дизелей
производства УП ММЗ семейства Д-245, укомплектованных
аккумуляторной системой топливоподачи
фирмы BOSCH**

Марчук А.Н.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время большую актуальность приобрела необходимость определения влияния пусковых параметров, как на сам пуск, так и на характеристики выхлопа непосредственно после пуска.

Так на УП ММЗ долгое время существовала проблема “Белого дыма” выражавшаяся в дымлении на режиме прогрева порядка 30 процентов двигателей. Сокращение УОВТ в угоду снижения выбросов NOx только осложнило ситуацию.

Применение системы Common Rail фирмы Bosch позволило в 4-х цилиндровых двигателях ММЗ реализовать пилотное впрыскивание (24 град. пкв до ВМТ при нормальных условиях), что значительно улучшило пусковые качества двигателя при отрицательных температурах окружающего воздуха (2с при -15⁰С) и позволило полностью избавиться от проявлений белого дыма на режиме пуска и прогрева. Кроме того, был реализован алгоритм коррекции УОВТ как пилотного, так и основного впрыскиваний по температуре ОЖ, позволивший установить наиболее оптимальные значения УОВТ для заданных условий окружающей среды и режима работы двигателя.

Дополнительно был реализован принцип постепенного увеличения цикловой подачи на режиме пуска до наступления событий свидетельствующих об успешном запуске двигателя.

Также положительную роль сыграл тот факт, что в системе Common Rail давление топлива растет постоянно до определенного установленного уровня (200 – 300 атм. на режиме пуска), что позволило избавиться от зависимости давления впрыскивания от частоты вращения и положительно сказалось на распыливании топлива и улучшении пусковых качеств.

Описанные мероприятия позволили значительно улучшить пусковые качества дизелей УП ММЗ.

**Моделирование рабочего процесса тракторного дизеля
при однофазном сгорании топлива**

Петрученко А.Н., Зеленков А.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях, которые диктуются спросом мирового рынка современного двигателестроения, экологические и эксплуатационные требования, предъявляемые к двигателю, являются приоритетными. В связи с этим особую значимость на стадии разработки приобретают математические модели, позволяющие точно описывать процессы, происходящие в цилиндрах двигателя.

Классическая методика расчета цикла двигателя, разработанная Гриневецким, не учитывает ряд факторов: продолжительностей сгорания и задержки воспламенения, угла опережения воспламенения топлива, закона тепловыделения. Поэтому в настоящее время находят применение методы расчета процессов сгорания и расширения, основанные на численном решении первого закона термодинамики в дифференциальной форме с использованием полуэмпирических уравнений, описывающих характеристики тепловыделения.

Упомянутая выше методика использовалась для моделирования рабочего процесса тракторного дизеля с учетом параметров рециркуляции отработавших газов. Процесс оптимизации параметров рабочего процесса двигателя на основании машинного эксперимента предусматривал составление плана эксперимента и использование метода штрафных функций. Для определения количества токсических компонентов в отработавших газах дизеля использовались регрессионные зависимости, полученные путем обработки экспериментальных данных.

В результате для режима работы двигателя, соответствующего номинальной частоте вращения и 75% нагрузке были определены следующие значения изменяемых параметров, обеспечивающих оптимальное сочетание экологических и экономических показателей (количество свежего заряда – 404,9 кг/ч; температура рециркулируемых газов – 363 К; угол воспламенения топлива – 361,3 град ПКВ; показатель сгорания – 0,4; продолжительность сгорания топлива – 105,4 град. ПКВ).

Исследование впускных каналов четырехклапанной головки дизелей производства ММЗ

Предко А.В., Юрчук К.Н.*

Белорусский национальный технический университет
Минский моторный завод*†

На этапе проектирования нового двигателя создание натуральных образцов каналов газообмена различных вариантов с последующими испытаниями на безмоторных установках требует больших материальных и временных затрат. Поэтому актуально проведение исследований на виртуальных установках с использованием трехмерных моделей каналов газообмена, позволяющих рассчитывать течение газов методом конечных элементов.

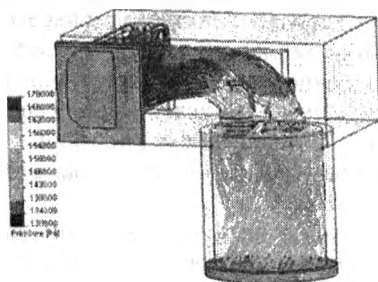


Рисунок 1 – Линии тока в виртуальном стенде при $h_{кл}=6$ мм и $G'_в=0,146$ м³/с

Виртуальная установка по своей конструкции напоминает натурную установку, т.е. в ней присутствует головка цилиндров и цилиндр двигателя. В головке находятся исследуемые каналы и клапанные механизмы.

В результате продувки впускных каналов на виртуальной установке получены трехмерные массивы величин состояния воздушного заряда в проточной части установки. Были найдены регрессионные зависимости коэффициента расхода и тангенциальной скорости воздушного заряда на выходе от величины подъема клапана $h_{кл}$ и расхода воздуха $G'_в$.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что при малых подъемах клапана $h_{кл}=0...4$ мм и малых расходах воздуха вихревое движение воздушного заряда в цилиндре двигателя не подчиняется закону движения твердого тела, а носит скорее хаотичный характер. По мере увеличения расхода и высоты подъема клапана движение воздушного заряда приобретает упорядоченное движение.

Трехмерная параметрическая модель напряженного состояния кривошипа

Предко А.В., Русецкий И.К.

Белорусский национальный технический университет

На данном этапе развития средств САПР появились возможности решения задач механики деформированного твердого тела методом конечных элементов. Решение задачи можно разбить на следующие этапы:

- построение трехмерной параметрической модели кривошипа, с возможностью изменения основных параметров детали в

таблице (диаметры коренной и шатунной шеек, радиус кривошипа, ширина и толщина щеки, радиусы галтелей);

- задаемся свойствами материала (пределами прочности, текучести, коэффициентами упругости).

- расстановка ограничений и нагрузок (направления и величины силы действующей со стороны шатуна на шейку).

- генерация сетки конеч-

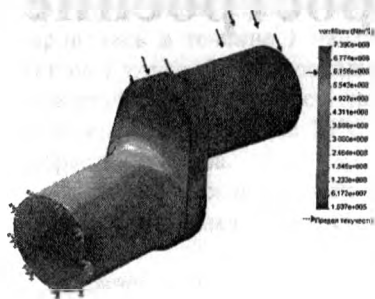


Рисунок 1 – Распределение напряжений в кривошипе

ных элементов и запуск программы на выполнение.

Результаты расчета могут быть представлены в виде диаграмм напряжений, перемещений, деформаций и запасов прочности.

Данную модель предполагается использовать на практических занятиях по дисциплине «Конструирование и расчет деталей ДВС».

Анализируя предварительные данные, студент должен определить наиболее опасные места конструкции кривошипа. Затем, варьируя параметрами твердотельной модели, предлагается добиться достаточной прочности при наименьшей массе для различных вариантов нагрузки.

Автотракторостроение

Технологические режимы гидратации зерна перед солодоращением

Бойков В.П., Калинка Я.С., Мазур А.М., Ободовский Д.В.
Белорусский национальный технический университет

Проведены лабораторные исследования технологических режимов и параметров гидратации зерна перед солодоращением. Навески зерна ржи массой 400 г вносились в большую чашу кухонного комбайна с внутренней насадкой и установленной по цилиндрической поверхности наждачной бумагой, и обрабатывалась в течение 10 с. 4 образца ржи с предобработкой зерна и 4 образца не обработанного зерна в пищевых емкостях дезинфицировались в течение 1 часа перманганатом калия из расчета 40 г на 1 т ржи. Затем промывали чистой питьевой водой с температурой 10°C в течение 1 часа. Температура замачивания зерна изменялась от 10 до 25°C. Определяли время набухания и прорастания зерна.

Результаты исследований:

Первоначальная влажность всех образцов – 14 %, всхожесть – 90 %.

Влажность после 7 часов замачивания достигла 37 - 42 %. При температуре замачивания 10 - 15°C влажность составила 37 - 38 %. При температуре замачивания 20 - 25°C влажность составила 41 - 42 %.

Дальнейшее замачивание проходило путем орошения. Через 23 часа замачивания влажность составила 38 – 40 % при температуре 10 - 15°C и 40 – 46 % при температуре 20 - 25°C. Через 30 часов замачивания влажность составила 40 - 43 % при температуре 10 - 15°C и 46 - 48 % при температуре 20 - 25°C. Далее идет процесс прорастания, влажность всех образцов достигла 45 - 49 % и поддерживалась до конца процесса прорастания.

В результате проведения лабораторных исследований можно сделать следующие выводы:

- основное влияние на время набухания и прорастания зерна оказывает температура процесса гидратации;

- оптимальной температурой среды гидратации является 20 - 25°C при этом время набухания до оптимальной влажности составляет 23 часа.

Гидравлическая тормозная система транспортного средства

Жданович Ч.И., Жуковский Ю.М., Радченко П.В.
Белорусский национальный технический университет

Технически простой, надежный и обладающий хорошим следящим действием тормозной привод - важнейший фактор обеспечения активной безопасности транспортного средства.

На легких транспортных средствах может применяться гидростатический тормозной привод, при работе которого используется только мускульная энергия водителя, что обеспечивает хорошее следящее действие. В зависимости от особенностей конструкции привода и типа тормозных механизмов от 50 до 80% рабочего хода тормозной педали приходится на выборку зазоров в системе, что приводит на более тяжелых транспортных средствах к превышению нормативных значений по ходу тормозной педали или по усилию на ней.

На тяжелых машинах могут применяться тормозные системы с гидродинамическим приводом, содержащим источник высокого давления и следящий гидравлический тормозной кран, который имеет относительно невысокую стабильность выходных характеристик, сильно зависящих от температуры и других свойств рабочей жидкости, а также от неизбежного изменения в процессе эксплуатации параметров составных элементов самого крана.

Разработана гидравлическая тормозная система, при работе которой в конце свободного хода тормозной педали происходит быстрое соединение полостей рабочих тормозных цилиндров с источником низкого давления, обеспечивающим выборку зазоров в тормозной системе и создание на колесах транспортного средства небольших тормозных моментов. Затем источник низкого давления отсоединяется от тормозных механизмов, а главный тормозной цилиндр соединяется с ними и дальнейшее управление давлением в тормозном приводе происходит так же, как при гидростатическом приводе. Тормозная система защищена патентом РБ № 10519.

Таким образом, в рассматриваемой тормозной системе реализованы преимущества как гидростатического, так и гидродинамического тормозных приводов.

Продольная жесткость резиноармированной гусеницы

Жданович Ч.И., Плищ В.Н.

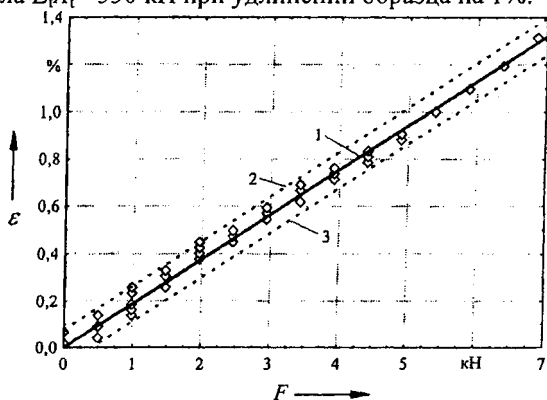
Белорусский национальный технический университет

Основную часть растягивающего усилия в резиноармированной гусенице (РАГ) воспринимают металлические тросы. Количество тросов и их параметры подбирают таким образом, чтобы обеспечить работу тросов в области упругих деформаций. Поэтому, продольную жесткость РАГ EA определим используя закон Гука и известное выражение:

$$EA = k_n n_t E_t A_t \quad (1)$$

где. k_n – коэффициент неравномерности распределения нагрузки между тросами; n_t – количество тросов в РАГ; $E_t A_t$ – продольная жесткость металлического троса.

Продольная жесткость троса конструкции $7 \times 19 \times 0,2$ РАГ $470 \times 73 \times 125$ была установлена экспериментально (рисунок 1) и составила $E_t A_t = 530$ кН при удлинении образца на 1%.



1 - математическое ожидание; 2, 3 доверительный интервал (0,95)

Рисунок 1- Зависимость относительной продольной деформации ε от силы растяжения F для троса РАГ конструкции $7 \times 19 \times 0,2$

Согласно (1) для РАГ $470 \times 73 \times 125$ имеющей 60 тросов и $k_n = 0,85$ [1, с. 111] продольная жесткость составила $EA = 27$ МН.

Литература: 1. Лепетов, В.А. Расчеты и конструирование резиновых изделий: учеб. пособие для вузов / В.А. Лепетов, Л.Н. Юрцев. - 3-е изд. - Л.: Химия, 1987. - 408 с.

Оценка возможности схода трактора Беларусь-80Х с тележки конвейера

Грибко Г.П., Поварехо А.С., Рахлей А.И.

Белорусский национальный технический университет

Принцип действия конвейера для доделки и окраски тракторов в блоке цехов Минского тракторного завода основан на протягивании трактора вдоль линии конвейера буксировкой с частичной погрузкой. Переднее колесо трактора установлено на опорные ролики тележки конвейера без жесткой фиксации. Тележка движется и тянет за собой трактор, задние колеса которого катятся по жесткому полу в ведомом режиме.

Сход переднего колеса трактора с тележки конвейера рассматривается как преодоление порогового препятствия. На переднее колесо трактора действует вертикальная нагрузка и толкающее усилие, передаваемое на остов трактора. В режиме равномерного движения конвейера с установившейся скоростью толкающее усилие равно суммарной силе сопротивления перекатыванию задних колес трактора. При трогании с места остановленного конвейера на трактор дополнительно действует сила инерции, приложенная в центре масс трактора и направленная противоположно вектору скорости движения конвейера, а при остановке движущегося конвейера на трактор действует сила инерции, обусловленная замедлением конвейера и направленная в сторону вектора скорости движения конвейера. Для определения возможности схода трактора с тележки при трогании и остановке конвейера необходимо рассмотреть диаграмму разгона и торможения конвейера.

Сход переднего колеса трактора с тележки конвейера возможен только назад при значении коэффициента сопротивления движению задних колес трактора $f \geq 0,3$, что может иметь место при блокировке задних колес или увеличении сопротивления в трансмиссии. Силы инерции, действующие на трактор при трогании и остановке конвейера, не могут вызвать схода колеса с тележки из-за кратковременности их действия. При этом путь разгона и торможения конвейера на два порядка меньше половины расстояния между опорами колеса на тележке, что обуславливает невозможность схода колеса с тележки.

**Тягово-сцепные качества колесных тракторов,
выполненных по схемам 4к4 и 6кб**

Гуськов В.В., Павлов В.В., Радченко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Гуськов А.В., Мелешко М.Г., Усс И.Н.

ПО «Минский тракторный завод»

В связи с использованием в последнее время комбинированных сельскохозяйственных агрегатов, имеющих большие тяговые сопротивления и требующих значительного отбора мощности через ВОМ, возникает необходимость создания колесных тракторов тяговых классов 5...7, с двигателями мощностью до 500 л.с.

При создании таких тракторов возникают вопросы по выбору схемы ходовой части. Опыт мирового тракторостроения показывает, что тракторы этого класса оборудуются ходовой системой по схеме 4к4 с возможностью удвоения шин задних и передних колес. Однако при этом давление на почву превышает агротехнические требования.

Представляет интерес исследование ходовой части, выполненной по схеме 6кб. Такая схема способствует более равномерному распределению давления на почву, улучшению тягово-сцепных свойств и проходимости машины (опыт создания машин высокой проходимости, МЗКТ).

В связи с изложенным, на кафедре «Тракторы» Белорусского национального технического университета были проведены теоретические исследования тягово-сцепных качеств колесных тракторов тягового класса 5 выполненных по схемам 4к4 и 6кб.

При этом было принято, что сравниваемые тракторы имеют одинаковую мощность двигателя, эксплуатационный вес и эксплуатируются в одинаковых условиях. В тоже время шины имели различную размерность.

Анализ полученных результатов теоретического исследования показал, что схема 6кб имеет преимущество по сравнению со схемой 4к4 (задние колеса сдвоены) по тягово-сцепным качествам и экономичности (более высокий тяговый КПД).

Вместе с тем схема 6кб уступает схеме 4к4 по маневренности (минимальный радиус поворота).

Унификация и типизация тракторов семейства «Беларус»

Гуськов В.В., Павлова В.В.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день, унификация и типизация являются одними из наиболее эффективных методов, позволяющих существенно сократить номенклатуру деталей и узлов проектируемой машины.

Указанные методы широко применяются в машиностроении и, в частности, в тракторостроении, где имеется большой спектр тяговых классов, начиная от 0,2 и до 35,0. При этом каждое семейство имеет базовую модель и несколько модификаций. Например, тяговый класс 1,4 имеет одну базовую модель и девять модификаций, включая колесные и гусеничные машины.

ГСКБ по пропашным тракторам Минского тракторного завода совместно с сотрудниками кафедры «Тракторы» Белорусского национального технического университета разработали оригинальную методику по унификации и типизации деталей и узлов проектируемой машины, отличающуюся от существующих не только унификацией и типизацией узлов и деталей по «горизонтали» (т.е. в пределах одного тягового класса), но и по «вертикали» (т.е. между тяговыми классами). Для этой цели вся номенклатура выпускаемых тракторов семейства «Беларус» была условно поделена на три группы:

- 1 группа – тракторы тяговых классов 0,6 и 0,9
- 2 группа – тракторы тяговых классов 1,4 и 2,0
- 3 группа – тракторы тяговых классов 3,0, 4,0 и 5,0.

При этом унификация и типизация деталей и узлов между тяговыми классами каждой группы составляла 82...92%, а между соседними группами 65...75%. «Горизонтальная» унификация (т.е. между модификациями одного тягового класса) составляла до 92%.

Применение разработанной методики на практике позволило резко сократить номенклатуру узлов и деталей всего семейства тракторов «Беларус», удешевить производство серийных тракторов и сократить время на подготовку производства.

**Экспериментальное исследование переходного
процесса трогания троллейбуса**

Минюкович С. М., Галямов П. М., Куприянов А. Г.*
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Филиал «Троллейбусный парк №5» КУП «Минсктранс»*

В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется 1772 троллейбуса, около половины из которых оснащено тиристорно-импульсной системой управления (ТИСУ) тяговым электродвигателем (ТЭД). Так как характер переходного процесса трогания троллейбуса определяет его комфортабельность и уровень динамических нагрузок в трансмиссии, Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси совместно с Минским автомобильным заводом ведутся работы по изучению динамики трансмиссии троллейбусов, включающие математическое моделирование и экспериментальные исследования (ЭИ).

Поскольку ЭИ трогания троллейбусов с люфтом в трансмиссии проводились еще до появления ТИСУ (в 50–60 гг. XX в.), в качестве объекта ЭИ взят троллейбус МАЗ 103Т, серийно оснащаемый ТИСУ производства ООО «Этон» (г. Смолевичи).

Целью ЭИ являлось опытное подтверждение возможности снижения пиковых нагрузок в трансмиссии совершенствованием ТИСУ, а также оценка адекватности результатов математического моделирования процесса трогания троллейбуса.

Программа ЭИ включала одновременную запись сигналов углового положения ходовой педали, задаваемого и действительного токов якоря ТЭД, крутящего момента на полуоси ведущего моста. Выбрав вручную или установив окружной люфт в трансмиссии величиной 45° , водитель приводил троллейбус в движения резким нажатием на ходовую педаль до упора. Анализ записанных осциллограмм показал как эффективность предлагаемой системы управления по сравнению со штатной (пиковый динамический момент снизился с 1380 до 332 Н·м при величине люфта 45°), так и адекватность математической модели: расхождение между расчетом и экспериментом не превышает 8,55% по собственной частоте и 10,1% по крутящему моменту.

Вывод. Проведенные ЭИ подтвердили снижение нагрузок в трансмиссии троллейбуса с усовершенствованной ТИСУ ТЭД.

**Проектирование тормозной системы тракторного поезда
на основе функционально-надежностного анализа**

Грибко Г.П., Поварехо А.С., Рахлей А.И.

Белорусский национальный технический университет

Возможность реализации потенциальных свойств тормозной системы в эксплуатации зависит от надежности ее функционирования. Для выбора структуры тормозной системы целесообразно использовать комплексный метод функционально-надежностного анализа. Суть метода состоит в логической оценке функциональных состояний тормозной системы с точки зрения степени их влияния на безопасность движения и базируется на макро- микроподходе к анализу системы. Уровень безопасности движения характеризуется вероятностями возникновения при торможении тракторного поезда ситуаций, приводящих к усложнению условий движения.

При макроподходе оценивают значения выходных параметров тормозной системы и анализируют соответствующие им состояния тракторного поезда в процессе торможения. В случае изменения параметров тормозной системы тракторный поезд при торможении может перейти в одно из состояний, соответствующее особой ситуации.

Дальнейшие исследования функциональной надежности тормозной системы проводятся с использованием принципа микроподхода, при котором анализируются возможные отказы в тормозной системе и связанные с ними изменения выходных параметров системы, приводящие к возникновению особых ситуаций при торможении тракторного поезда. Поставив в соответствие каждому состоянию элементов тормозной системы вероятности их появления можно сформировать уравнения функционально-надежностных состояний системы для определения численных значений вероятности попадания тракторного поезда при торможении в одну из особых ситуаций вследствие отказов в тормозной системе.

Решение по структуре проектируемой тормозной системы принимается на основе сравнительной функционально-надежностной оценки вариантов.

**Потребительские свойства тракторов
семейства «Беларус»**

Павлова В.В., Гуськов А.В.*

Белорусский национальный технический университет
ПО «Минский тракторный завод»*

Колесные тракторы эксплуатируются в различных погодноклиматических и природных условиях. Требования, предъявляемые к ним весьма разнообразны и противоречивы. Для удовлетворения этих требований необходимо наличие ряда эксплуатационных свойств, характеризующих в комплексе эффективность, комфортность, безопасность и экономичность трактора вместе с агрегируемой машиной или орудием. Комплекс эксплуатационных свойств называется «Потребительские свойства машины» и в соответствии с СТБ 1208-2000 (МТЗ), разработанным совместно с учеными Белорусского национального технического университета, определяется как совокупность технических, эстетических и других свойств продукции, создающая ей полезный эффект и привлекательность для потребления.

По указанной классификации потребительские свойства трактора условно можно разделить на три группы:

- 1) характеризующие приспособленность трактора к выполнению технологических требований, вытекающих из условий работы, или технологические (агротехнические);
- 2) определяющие производительность и экономичность работы машинотракторного агрегата, или технико-экономические;
- 3) обеспечивающие комфорт водителя и его безопасность, или общетехнические.

На сегодняшний день, в мире имеются и другие классификации потребительских свойств тракторов вместе с агрегируемой машиной или орудием, которые разделяют указанные выше свойства на более чем три группы. Однако приведенная классификация является наиболее рациональной. Она была использована при проектировании новых тракторов семейства «Беларус».

Проблемы сертификации мобильных транспортных средств в Республике Беларусь

**Кравцов Ю.В., Лукьянчук А.Д., Сидоров С.А., Сонич О.А.
Белорусский национальный технический университет**

Стремление удовлетворить разнообразные запросы потребителей, повысить безопасность, а также снизить вредные воздействия на окружающую среду, заставляет производителей продвигать на рынок новые типы продукции. В настоящее время как в зарубежных странах, так и в Республике Беларусь получают распространение транспортные средства (ТС) новых типов: электромобили, ТС с гибридным приводом и т.п.

Основной проблемой при сертификации указанной техники является отсутствие их четкого определения и классификации. Так, ГОСТ 31286-2005 “Транспорт дорожный. Основные термины и определения. Классификация”, не дает определений электромобилей, ТС с гибридным приводом, а также внедорожного ТС и мотовелосипеда.

Отсутствие определений типов ТС приводит к невозможности однозначного выбора перечня технических нормативных правовых актов (ТНПА), по которым необходимо проводить подтверждение соответствия. Кроме того, на некоторые типы ТС, в частности электромобили и ТС с гибридным приводом, бронированные ТС, мотовелосипеды и квадрициклы, такие ТНПА отсутствуют. Это приводит к невозможности подтверждения соответствия отдельных свойств указанной техники в отношении безопасности людей и окружающей среды.

Также одной из проблем, возникающей при сертификации мобильной техники, является отсутствие в Республике Беларусь условий для проведения испытаний по некоторым отдельным свойствам: отсутствие испытательных трасс, испытательных лабораторий или центров, методик проведения испытаний.

В республике остро стоит проблема разработки и приведения в соответствие с уровнем технического прогресса ТНПА на свойства и методы испытаний новых типов техники, а также создать в Республике Беларусь испытательные сооружения для их проведения.

УДК 629.735

Форсированные полигонные испытания карьерных самосвалов

Бусел Б.У., Егоров А.Н.*

Белорусский национальный технический университет
Белорусский автомобильный завод*

Белорусский автомобильный завод (БелАЗ) имеет специальный полигон для лабораторно-дорожных испытаний карьерных самосвалов общей массой до 800 тонн. Дорожные испытательные сооружения созданы на основе изучения условий эксплуатации самосвалов более чем в 40 карьерах России, Украины и Средней Азии. При полигонных испытаниях самосвалов могут имитироваться дорожные условия эксплуатации от легких до самых тяжелых.

Выполнены расчетно-экспериментальные исследования нагрузочных режимов основных агрегатов карьерных самосвалов в типичных условиях эксплуатации и при движении по дорожным сооружениям полигона. Установлены пути и методы форсирования нагрузок, действующих на конструкцию самосвала. На основе проведенных исследований разработаны методики форсированных испытаний основных агрегатов карьерных самосвалов. Применение методик форсированных полигонных испытаний позволило существенно сократить объем испытаний по пробегу. При форсированных испытаниях трансмиссий пробег сокращается в 5–6 раз в сравнении со средними условиями эксплуатации; при испытаниях несущих систем и систем подпрессоривания пробег сокращается в среднем в 20–30 раз.

УДК 629.735

Боковая устойчивость карьерных самосвалов типа БЕЛАЗ при опрокидывании

Бусел Б.У., Костюкович А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Поперечная устойчивость карьерного самосвала является одним из основных свойств в отношении безопасности и конку-

рентоспособности самосвала. Повышение поперечной устойчивости уменьшает величину снижения скорости при входе в поворот и, следовательно, уменьшается интенсивность разгона при выходе из поворота. Это делает движение самосвала более равномерным, повышает производительность и экономичность самосвала, снижает нагруженность трансмиссии.

Компьютерная модель для расчета поперечной устойчивости карьерного самосвала разработана в среде AMDMS/View.

Модель состоит из четырех жестких тел, имитирующих основные массы автомобиля: груз, поддрессоренные массы снаряженного автомобиля, неподдрессоренные массы переднего и заднего мостов соответственно. Тела имитировались геометрическими примитивами (сферы, цилиндры) и соединялись тягами и шарнирами в соответствии с конструкцией самосвала.

Модель учитывает упругие и демпфирующие характеристики шин и цилиндров подвески. Центробежные силы инерции моделировались внешними силами, приложенными в центрах тяжести элементов автомобиля.

С помощью разработанной модели выполнено исследование поперечной статической устойчивости карьерного самосвала грузоподъемностью 45 тонн. Установлены оптимальные, с точки зрения устойчивости, параметры самосвала: ход цилиндров передней и задней подвесок, величина рессорной колеи, расположение основных шарниров направляющего аппарата подвески.

Техническая эксплуатация автомобилей

Силовое активирование процессов индукционного припекания порошков

Ярошевич В.К.

Белорусский национальный технический университет

Индукционное припекание является наиболее технологичным процессом: значительное (на 2-3 порядка) ускорение диффузионных процессов при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ) резко уменьшает время выдержки порошка при высокой температуре и как следствие не требует применения защитно-восстановительных сред.

Силовое (механическое) воздействие на порошок увеличивает площадь фактического контакта его с основой, разрушает окисные пленки и способствует формированию покрытий с высокой плотностью и прочностью сцепления.

Силовое активирование при припекании осуществляют приложением постоянной, переменной или импульсной нагрузки.

Постоянное давление создают массой груза или центробежными силами, возникающими при вращении заготовки.

При прокатке роликом по слою порошка, насыпанного на поверхность детали, давление изменяется от минимального (в зоне контакта ролика с порошком) до максимального (в плоскости, проходящей через ось вращения ролика).

Переменное давление, уменьшающееся с ростом температуры, предотвращает вытеснение порошка из очага деформации при приложении давления, превышающего предел текучести порошкового слоя.

Приложение динамического давления в виде отдельных импульсов (вибрации, ударов, магнитного обжатия) в процессе нагрева порошка значительно интенсифицирует припекание за счет дополнительной энергии, расходуемой на преодоление энергетического барьера схватывания и повышение прочности связи между атомами соединяемых материалов.

Используя различные варианты силового активирования процессов индукционного припекания, можно при температуре $0,9-0,95 T_{пл}$ получить качественные покрытия с исходной структурой порошков, приобретенной при их изготовлении.

К вопросу организации ремонта узлов системы питания с восстановлением деталей

Казацкий А.В., Смольская В.С.

Белорусский национальный технический университет

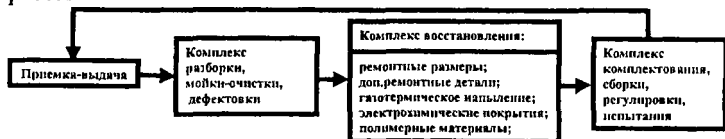
Задачей восстановительного ремонта основных узлов системы питания является восстановление первоначальных характеристик и обеспечение работоспособности в течение межремонтного цикла.

Восстановительный ремонт экономически и технологически целесообразен в условиях специализированных предприятий (участков, цехов, авторемонтных предприятий). Возможность и целесообразность организации специализированного производства обоснованы следующими факторами: спецификой технологического процесса ремонта; конструкцией и технологическим подобием при изготовлении, позволяющим восстанавливать узлы для автомобилей различных марок; транспортабельностью объектов ремонта.

Особенности технологического процесса ремонта узлов системы питания состоят в следующем:

- 1) процесс восстановления не связан с процессом ремонта автомобиля;
- 2) в схеме технологического процесса ремонта имеют место работы, которые могут быть выполнены только с использованием специального оборудования: восстановление корпусов, золотниковых пар, валов и осей; испытание и регулировка. Номенклатура восстанавливаемых деталей определена с учетом их ремонтпригодности на стадии капитального ремонта.

Блок-схема ремонта может быть представлена следующим образом:



Концентрации производства способствует экономически обоснованная целесообразность транспортирования на большие расстояния, что говорит в пользу предприятий по централизованному ремонту узлов системы питания для большого региона обслуживания без территориальной привязки их к потребителю.

Применение послойного напыления для улучшения свойств чугунных покрытий

Девойно Ю.О., Ярошевич В.К.

Белорусский национальный технический университет

Для улучшения свойств покрытий, порошок высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2 (отходы производства) предварительно подвергают диффузионному легированию бором.

Более эффективным решением является лазерная обработка газотермических покрытий. Недостатком способа применительно к покрытиям на основе ИЧХ28Н2 является повышенная пористость, связанная с высокой интенсивностью выделения газов при выгорании графита, а также снижение концентрации упрочняющей фазы и прочности сцепления покрытия с основой.

Избавиться от указанных недостатков можно, применив метод послойного нанесения покрытия. Вначале напыляют слой порошкового терморезирующего сплава ПГ-НАО1 толщиной 0,1..0,15 от общей толщины слоя ($\delta_{\text{СЛ}}$), далее - основной слой порошка высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2, а затем слой никелевого сплава ПГ-СР3 толщиной 0,1..0,2 $\delta_{\text{СЛ}}$ после чего производят лазерный переплав на глубину 1,3..1,5 от толщины основного слоя.

Первый слой обеспечивает увеличение прочности сцепления покрытия с основой, предотвращает скалывание покрытия в процессе лазерного оплавления. Второй (основной) слой определяет свойства многослойного покрытия, а верхний слой из порошка ПГ-СР3 обеспечивает передачу энергии от лазерного луча слою высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2. Лазерный переплав на глубину 1,3..1,5 от толщины основного слоя обеспечивает монолитное соединение с материалом основы.

Послойное нанесение покрытий снижает пористость с 8 до 3%, повышает прочность сцепления со 150 до 290 МПа. За счет формирования более мягкой и пластичной металлической матрицы с высокой концентрацией упрочняющей карбидно-боридной фазы достигается увеличение износостойкости многослойных покрытий на основе порошка высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2 в 1,2-1,3 раза.

Обзор нормативных документов по ограничению вредных выбросов в атмосферу автомобильным транспортом

Поклад Л.Н., Флерко И.М.

Белорусский национальный технический университет

Нормативную документацию по ограничению вредных выбросов автомобильным транспортом в Республике Беларусь и за рубежом можно разделить на используемую в эксплуатации, при различных испытаниях и для расчета величины загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников автотранспортных предприятий.

В Республике Беларусь при нормировании выбросов в эксплуатации для бензиновых автомобилей используется ГОСТ 1987 года, для дизельных – 1975 года. В Российской Федерации и государствах Европейского содружества нормативные документы обновляются каждые пять лет. Подобную практику необходимо внести в Республике Беларусь.

При проведении различных испытаний в РБ и РФ действуют стандарты, определяющие нормы CO, CH и NO_x с учетом рабочего объема двигателя, для случаев применения нейтрализатора и без него. Выбросы вредных веществ измеряются в граммах на испытание. В странах ЕС испытания проводятся в соответствии с Правилами №83.03, нормы по этим стандартам не зависят от рабочего объема двигателя, постоянно обновляются, последний год введения новых норм 2005-й. Величина выбросов CO, CH и NO_x измеряется в г/км.

Расчет выбросов вредных веществ в окружающую среду от стационарных и передвижных источников АТП осуществляется в соответствии с Руководящим документом РБ 0212.2-2002. На кафедре «Техническая эксплуатация автомобилей» изданы методические указания к выполнению расчета для студентов специальности 1-37.01.06 «Техническая эксплуатация автомобилей». Имеются пакеты программ. Предлагается их использовать при курсовом и дипломном проектировании для расчета вредных выбросов от деятельности реконструируемых и вновь проектируемых автотранспортных предприятий.

Методологические аспекты обеспечения качества транспортной продукции

Самко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Проблема обеспечения качества автотранспортного производства – перевозки грузов и пассажиров – актуальна и рассматривается и решается и на всех уровнях, начиная с проектирования, производства и выбора автотранспортных средств, и далее организации их технической и коммерческой эксплуатации. Обобщённый показатель качества машин можно представить в виде сложного функционала множества функций, соответствующих влиянию частных показателей качества машин на обобщённый показатель.

Рассматривая качество транспортной продукции в сложных системных связях, его следует рассматривать через показатель себестоимости единицы транспортной продукции, его сравнении и анализе с аналогичными показателями на различных видах транспорта с учётом специфики методик их расчёта на отдельных видах транспорта. Так, на автомобильном транспорте методика расчёта себестоимости не учитывает немалые затраты, связанные с эксплуатацией и ремонтом дорог, с экологическими последствиями ингредиентного, шумового и территориального загрязнения пагубно влияющие на здоровье людей и живой природы. Эти же факторы постоянно запускают механизмы разрушения фасадов зданий и технических сооружений, памятников архитектуры и др. И конечно, в первую очередь эти явления проявляются в условиях больших городов.

Поэтому, наряду с привлечением в сферу эксплуатации экологически чистых автотранспортных средств, необходимо задействовать ресурсы организационных мероприятий по упорядочиванию, и ограничению использования автотранспортных средств в центральной части больших городов, что уменьшит экологические последствия их эксплуатации, повысит качество транспортной продукции и качество жизни миллионов людей.

**Тенденции развития электронных систем управления
автомобильных двигателей**

Савич Е.Л.

Белорусский национальный технический университет

Особенностью современного двигателя является внедрение в его работу электронных систем управления. Это можно объяснить тем, что их применение позволяет добиться значительного улучшения эксплуатационных свойств двигателя: применение для компонентов двигателя высокопрочных облегченных материалов; снижения токсичности отработавших газов, увеличение мощности, обеспечение бесшумности, повышения топливной экономичности, простоты ТО и т.д.

Основными мероприятиями с применением электронных систем управления по достижению указанных целей являются следующие. По двигателю – изменение степени сжатия, фаз газораспределения и высоты подъема клапана; применение турбонаддува и охлаждения воздуха, поступающего в цилиндры двигателя; уменьшение допустимых зазоров между сопряженными парами. По системе питания бензинового двигателя – применение непосредственного впрыска топлива в цилиндры двигателя, позволяющего работать двигателю не только на однородной, но и на гетерогенной смеси, вместо традиционных систем впрыска топлива во впускной трубопровод. По системе питания дизельного двигателя – повышение давление впрыска дизельного топлива свыше 200 МПа, в связи с этим отказ от применения традиционных систем топлива к форсункам с помощью плунжерных насосов и применение индивидуальных для каждого цилиндра насоса и форсунок; использование систем постоянного давления «коммон рейл». По системе воспламенения смеси бензиновых двигателей – применение более мощных индивидуальных катушек и свечей зажигания длительного использования, отказ от динамического прерывания низкого и распределения высокого напряжения в пользу статических систем зажигания, а также применение воспламенения топливовоздушной бензиновой смеси от сжатия. По системе выпуска отработавших газов – применение трехкомпонентных нейтрализаторов с системой обратной связи и системами регенерации.

**Восстановление коленчатых валов дизельных двигателей
сверхзвуковой электродуговой металлизацией**

Савич А.С.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространенными способами восстановительного ремонта являются электродуговая и плазменная наплавки и газотермическое напыление.

Анализ эксплуатационной надежности коленчатых валов двигателей, восстановленных на ремонтных предприятиях, показывает, что наименьшее количество дефектов имеют валы, восстановленные электродуговой металлизацией (ЭДМ). Затраты на ремонт методом ЭДМ в 2,5-5 раз ниже, чем другими методами газотермического напыления.

Однако восстановление коленчатых валов дизельных двигателей дозвуковой ЭДМ не позволяет получить качественные покрытия из-за малой скорости полета частиц и образования высокой пористости покрытия и низкой адгезии.

Для получения заданных параметров покрытий и обеспечения необходимого ресурса работоспособности коленчатых валов дизельных двигателей разработана конструкция электродугового металлизатора, имеющего повышенную электрическую мощность. Металлизационная струя должна иметь высокие скорости и температуру и быть высококонцентрированной. Эти параметры обеспечивает сверхзвуковая распылительная головка.

Исследования показали, что с увеличением скорости истечения воздуха, а, следовательно, и скорости металлизационной струи с 210 до 610 м/с адгезия покрытия повышается с 32 до 68 МПа, пористость снижается с 12,1 до 3,6 %.

Исследованиями установлено, что износостойкость покрытия при оптимальном режиме напыления соответствует износостойкости закаленной стали 45.

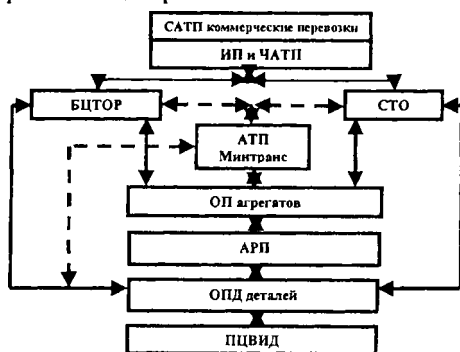
Экспериментальные исследования показали, что восстановленный способом сверхзвуковой ЭДМ коленчатый вал двигателя К-740 имел меньший износ, чем новый коленчатый вал, а запас усталостной прочности на изгиб и кручение возрастает почти в два раза.

Организация ремонта автомобилей при централизованном восстановлении деталей

Смольская В.С., Казацкий А.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время масштабность и узкая специализация авторемонтного производства в системе взаимодействия предприятий автомобильного транспорта утратили свои позиции. Имевшие место и реализованные на практике четыре схемы не исключали и признавали, что без восстановления деталей не может быть авторемонтного производства. Изменения, произошедшие в количественном и качественном составе автомобилей, увеличение количества владельцев и интенсивности использования вызвали увеличение потребления запасных частей. Поэтому в схему взаимодействия АТП-АРП необходимо внести изменения с однозначным определением роли восстановления деталей. На рисунке приведена схема взаимодействия предприятий автомобильного транспорта при централизованном восстановлении деталей.



Реализация этой схемы позволит удовлетворить потребность в ремонте автомобилей, повысить качество ремонта за счет внедрения в технологические процессы восстановления деталей новейших научно обоснованных способов, в полной мере использовать имеющееся оборудование и оснастку авторемонтных предприятий с перспективой создания специализированных производств по восстановлению деталей не исключая предметной специализации и капитального ремонта автомобилей агрегатным методом.

Инженерная и компьютерная графика

Рациональное использование положений стандартов ЕСКД в учебном процессе

Кулага Н.Е.

Белорусский национальный технический университет

Быстрый научно-технический прогресс во всех отраслях производства требует значительного роста технической информации. Одним из самых компактных способов её передачи является техническая графика благодаря применению большого количества условностей и упрощений. В последнее время в стандартах даны новые прогрессивные условности и упрощения, которые позволяют значительно сократить время разработки и чтения технической документации. Поэтому в учебном процессе на всех уровнях обучения графическим дисциплинам необходимо ориентировать учащихся на применение в чертежах информации, позволяющей ускорить её выполнение.

Для выявления строения внутренних поверхностей изделия применяются различные типы разрезов, что может привести к уменьшению информации об их наружных поверхностях и усложнению выполнения и чтения чертежей. Избежать подобного можно путем применения таких условностей как «вкатывание» центров цилиндрических отверстий в секущую плоскость, если центры отверстий расположены по окружности, местных разрезов вместо сложных, соединение части вида с частью разреза и др.

Очень оперативным с точки зрения упрощений изображений является ГОСТ 2.318-81 «Правила упрощенного нанесения размеров». Большое количество изделий машиностроения имеют сопрягаемые поверхности типа «вал-втулка», на которых между сопрягаемыми и соприкасающимися поверхностями назначают канавку для выхода шлифовального круга, которые требуют дополнительных изображений.

Вместо таких канавок следует применять галтели между сопрягаемыми и соприкасающимися поверхностями (ГОСТ 3478-79 и ГОСТ 12080-66).

Эти вопросы рассмотрены в докладе и предлагаются для использования в учебном процессе.

Некоторые ошибки, часто встречающиеся в чертежах учебных

Кулага Н.Е.

Белорусский национальный технический университет

Производственные чертежи изделий отличаются от учебных полнотой оформления в зависимости от уровня профессионального образования студента.

В разделе «Машиностроительное черчение» студенты впервые встречаются с выполнением чертежей изделий, состоящих из сопрягаемых и соприкасающихся поверхностей вращения, переход между которыми оформляется в виде канавки для выхода шлифовального круга или галтели.

На сопрягаемой поверхности вращения в зависимости от диаметра и других условий в обязательном порядке должна выполняться фаска.

Следовательно, на всех сопрягаемых поверхностях (будь-то отверстие или стержень) должна назначаться фаска с размерами, предусмотренными стандартами.

Правильно выбранные параметры фаски часто отражаются на качестве изделия. В учебной практике зачастую допускаются ошибки при изображении шпоночного паза на валу.

В докладе проанализированы ошибки, допускаемые при изображении пазов на валах под горизонтальные и клиновые шпонки, и пазов для многолапчатых стопорных шайб, рассмотрены правила выполнения чертежей совместно обрабатываемых изделий, а также условия изображения и нанесения отверстий под установочные винты, заклёпки, штифты согласно ГОСТ 2.109-73.

Такой анализ позволит студентам избежать подобных ошибок в учебном процессе и более осознанно воспринимать информацию при чтении чертежей сварочных единиц, общих видов и сборочных чертежей узлов машиностроительного применения.

Рассмотренные вопросы помогут студентам изучать технические дисциплины более осознанно, с полным пониманием взаимного расположения деталей в рассматриваемых узлах, действии нагрузок и соответствующих напряжений.

Меры предупреждения неуспеваемости студентов

Слижевский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Самым действенным и испытанным средством предупреждения неуспеваемости является создание таких условий в обучении, при которых студенты учатся старательно и охотно. Для осуществления такой задачи необходимо вызвать у студентов потребность в знаниях и воспитать у них интерес к учению.

Предпосылкой для создания потребности в знаниях являются активность и любознательность студентов.

Некоторые студенты не желают заниматься черчением, потому что не видят в этом необходимость.

Важным средством предупреждения неуспеваемости является раскрытие перспектив учения, показ роли изучаемой науки, ее историческое развитие.

Не менее важным условием предупреждения неуспеваемости является создание в аудитории общественного мнения вокруг успеваемости каждого студента. Это достигается взаимопомощью в труде, налаживанием хорошей дисциплины, вовлечением в активную работу всех студентов и особенно тех, кто на занятиях является пассивным.

Для того чтобы предупредить неуспеваемость в аудитории, преподаватель должен хорошо изучить типовые ошибки, допускаемые студентами.

Возникает вопрос: как поступить преподавателю, если группа не успевает?

В этом случае необходимо выяснить причину отставания и в зависимости от ее характера принять меры для исправления. Обычно применяются дополнительные занятия, консультации и т.д. Однако преподаватель не всегда располагает временем для дополнительных занятий с неуспевающими студентами. В этом случае можно поручить успевающим студентам помочь отстающим. Такая помощь оказывается обоюдно полезной. Сильные студенты, оказывая помощь товарищам, одновременно закрепляют изученный материал. Кроме того, такая работа способствует развитию чувства товарищества между студентами.

Компьютерная культура

Куранова О.В.

Белорусский национальный технический университет

Создание электронных практикумов, методических пособий, контрольных работ, тестов – это настоятельная потребность сегодняшнего дня, поскольку многие из них издаются небольшими тиражами и не всегда их можно приобрести.

Имеющиеся в работе на кафедре методические разработки от постоянного использования быстро изнашиваются. С этой целью хорошо было бы создать банк электронных изданий на базе сайта кафедры «Инженерная графика м/с профиля» и организовать доступ к ней студентов.

Нами разработана электронная версия части учебно-методического пособия «Инженерная графика» УДК 744:621 (075.8).

Мы надеемся, что наличие такой информационной библиотеки по всем разделам инженерной графики даст возможность развивать дистанционные формы обучения и самостоятельно работать обучаемым на очном и заочном отделениях.

Нам следует добавить, что особенностью электронных конспектов является:

1. вывод на экран дисплея основных элементов изучаемой темы – определения, чертежи, выводы, компьютерные слайды и т.д.
2. работа в 2 режимах: локально (на отдельно взятой ПЭВМ), и в локальной сети Internet.

Результатом такого обучения было бы промежуточное и итоговое тестирование по дисциплине. Такой подход к подготовке станет залогом выпуска специалистов, которые благодаря своим знаниям и навыкам не будут долго и мучительно тратить время на решение прикладных или производственных задач, станет залогом выпуска специалистов совершенно иной - «компьютерной» культуры.

Влияние геометрических параметров движителей на эксплуатационные качества трактора

Ким Ю.А., Франкевич И.В.

Белорусский национальный технический университет

Тракторные колесные движители характеризуются следующими основными геометрическими параметрами: наружным диаметром, шириной профиля, размерами грунтозацепов и другими, которые влияют на тягово-сцепные и эксплуатационные характеристики.

Согласно формулам, полученным профессором В.В. Гуськовым, глубина колеи, сила тяги и сила сопротивления качению колеса зависят от его ширины и диаметра или площади пятна контакта, а также характера распределения удельных давлений в нем.

Увеличение площади пятна контакта движителя уменьшает глубину колеи, силу сопротивления качению, снижает уплотняющее воздействие на почву. Глубина колеи зависит от максимального давления на почву. Переуплотняющее воздействие движителей на почву приводит к снижению урожайности, поэтому для увеличения площади пятна контакта и снижения уплотняющего воздействия рационально увеличивать ширину шины. Однако увеличение ширины ограничено необходимостью вписываться в междурядья пропашных культур. Конструкция широкопрофильных шин в большинстве случаев не обеспечивает транспортному средству необходимые тяговые качества. Одним из способов простого увеличения площади пятна контакта за счет ширины движителя является установка сдвоенных колес. По этому пути идут многие производители тракторов. Одним из существенных недостатков является снижение маневренности за счет увеличенного сопротивления повороту.

Для решения этой проблемы необходимо обосновать выбор типоразмера шин и расстояния между ними а также некоторых других параметров трактора, таких как база, распределение веса по осям. Выбор и обоснование данных параметров является основной целью проводимой исследовательской работы.

**О некоторых аспектах труда преподавателя
графических дисциплин**

Киселева Н.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в связи с резким сокращением времени подготовки учащихся средних школ по черчению, а, следовательно, и снижением ее качества, все острее становится вопрос о возможности подготовки высококвалифицированных инженерных кадров.

Одним из важнейших факторов повышения уровня графической подготовки специалиста является организация и проведение учебных занятий, во главе которых стоит преподаватель. Поэтому уровень развития графической культуры преподавателя имеет здесь первостепенное значение. По нашему мнению графическая культура это более широкое и глубокое понятие, чем графическая грамотность, которая включает в себя лишь умение использовать ряд графических средств передачи информации.

Графическая культура преподавателя высшей школы, подразумевает глубокое владение методикой преподавания с учетом психологии студентов, их, а не преподавателя, восприятием графической информации. Сюда же надо отнести и понятие культура речи.

Необходимо четко представлять, что студент не всегда адекватно воспринимает учебный материал в графической форме и стремится изучить трудный материал. Если на занятиях регулярно встречается материал непонятный, трудный для восприятия, то студент может замкнуться в себе, сделать вывод, что это выше уровня его возможностей, и вообще перестать систематически работать, уповая на удачу на экзамене, зачете.

В связи с этим необходимо подходить к занятиям не только с учебной точки зрения, но и с воспитательной. Преподаватель не имеет право на неуважительное отношение к студенту, независимо от уровня его знаний.

Необходимо воспитывать в студентах чувство уверенности в своих силах и возможностях освоить предмет, несмотря на трудности первоначального характера.

Олимпиада как средство активизации творческой деятельности студентов

Кучура О.Н., Дорогокупец Т.В.

Белорусский национальный технический университет

На базе кафедры «Инженерная графика машиностроительного профиля» в течение последних пяти лет проводились республиканские олимпиады по начертательной геометрии.

При работе со студентами—первокурсниками такая форма углубленного изучения, как предметная олимпиада представляется как одна из наиболее оптимальных. Студенты—первокурсники активно, с готовностью, принимают участие в олимпиадах: им присущ соревновательный дух; форма проведения им уже знакома, так как большинство школ проводит предметные олимпиады.

Работу по выявлению и подготовке будущих участников олимпиады целесообразно начинать с начала семестра, что позволит не допустить угасание интереса к предмету у студентов с более высокой довузовской подготовкой (лицей, технические классы). Применение внутренней дифференциации даст возможность развивать творческие способности студентов, что затруднительно в рамках типовой учебной программы, ориентированной на среднего студента.

Для реализации поставленной задачи предлагается задания по первым темам курса для студентов, имеющих довузовскую подготовку по предмету, заменить более сложными. В дальнейшем по мере выявления способных студентов предлагать им задания, для решения которых необходимо самостоятельное углубленное изучение отдельных тем курса, и типовые задачи заменить задачами, требующими проявления способностей к анализу, обобщению, творческому мышлению.

При подборе олимпиадных заданий следует отдавать предпочтение задачам, требующим многоходового решения, создания четкого алгоритма.

Олимпиада позволяет оценить и сравнить свой уровень знаний студентам разных вузов, тем самым является стимулом к творческому саморазвитию.

Особенности преподавания темы «Сборочный чертеж» на примере синтеза редуктора в системе КОМПАС-3D

Лешкевич А.Ю., Силин Р.Д.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных условий успешного построения учебного процесса в высшей школе является максимальное приближение теоретических вопросов и их практическому применению. Особенно это важно в технических вузах и при изучении общеобразовательных дисциплин на первых курсах.

Инженерная графика не является исключением, а, скорее наоборот, имеет ряд специфических особенностей, сложно воспринимаемых студентами. Такое положение усугубляется еще и тем, что черчение в средней школе уже не изучается.

Изучение темы «Сборочный чертеж» наиболее эффективно на примере редуктора машиностроительного применения с набором цилиндрических, конических или червячных передач. Разработанная методика основана на анализе существующих узлов, создании соответствующей базы данных в системе КОМПАС-3D и синтезе требуемого узла с заданными характеристиками.

Используемый графический пакет позволяет весьма эффективно оперировать трехмерными моделями стандартных и типовых фрагментов, входящих в синтезируемый узел.

В процессе создания трехмерной модели редуктора студент получает возможность подробно изучить особенности корпусных деталей, крышек, валов, их взаимного расположения и взаимодействия.

При наличии соответствующей компьютерной базы имеется возможность изучить способы установки стандартных фрагментов или стандартных изделий в машине или механизме. Это касается, к примеру, резьбовых изделий, подшипников качения, уплотнений при вращательном и поступательном движении, зубчатых передач и т.д.

Несомненно, разработанные материалы будут способствовать более качественному усвоению изучаемых предметов с максимально возможным перебором различных вариантов компоновочных решений.

**Разработка компьютерной базы данных для выполнения
принципиальных схем**

Лешкевич А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Завершающим этапом общеобразовательной подготовки в курсе инженерной графики является выполнение чертежа по специальности. Для машиностроительных специальностей, связанных со станкостроением, автотракторостроением, с конструированием машин, их гидравлических и пневматических систем управления, с разработкой электроники таким чертежом является принципиальная схема. В качестве объектов могут применяться механические, гидравлические, пневматические и динамические или электрические устройства.

Принципиальная схема является одним из способов выражения конструкторской мысли с применением условностей, упрощений и специфических обозначений. Курс инженерной графики предполагает изучение правил и стандартов, а также выполнение графической работы – принципиальной схемы. Для облегчения понимания изучаемой темы предлагается методика, основанная на разбивке реальных объектов на элементарные устройства, их анализе и сравнении конструкции с изображением на схеме. Методика предполагает создание лабораторных работ с применением компьютерной базы данных и соответствующего компьютерного обеспечения.

Работа может выполняться в нескольких вариантах в зависимости от профиля специальности. При упрощенном выполнении предлагается изучить заданную схему и начертить ее вручную или на компьютере. В усложненном случае в заданной схеме добавляется убранный фрагмент исходя из логики работы системы. Самым объемным является схематический синтез общего узла из заданных фрагментов, исходя их описания устройства и работы узла.

Данный подход позволит уже на ранней стадии общетехнического образования полнее раскрыть суть будущей специальности, почувствовать смысл проектирования, осознать сложность выбранной профессии и важность планомерного, постепенного накопления знаний и навыков.

**Психологически окрашенные образы в понимании
предмета инженерная графика**

Тявловская Т.М., Коноплицкая И.А.

Белорусский национальный технический университет

Понимание предмета зависит от многих факторов, но одним из самых интересных является психологическая окрашенность образа предмета, т. е. образа, который сложился в сознании человека.

Психологически-окрашенные образы в сознании человека играют очень большое значение, ведь действует и чувствует человек не в соответствии с тем, каково реальное положение вещей, а с тем как он эти вещи представляет.

Инженерная графика считается одним из самых сложных предметов. До того, как студенты столкнутся с этим предметом, у многих уже сложилось о нем негативное мнение, а если у студента сложился негативный образ предмета, то изменить этот образ достаточно сложно. Человек склонен сопротивляться изменению психологических образов, он переносит это очень болезненно. Ему легче и спокойнее жить в соответствии с прежними, уже сложившимися когда-то образами.

Когда происходит знакомство студента с предметом, преподаватель, пытаясь, создать серьезное отношение, рассказывает о специфике курса инженерная графика, о необходимости соблюдения ритмичности в работе, старается убедить студентов, что предмет сложный и подход должен быть соответствующий – этим создавая определенный образ предмета. После получения заданий психологический образ, сложившийся о предмете, подтверждается.

Для того, чтобы не создавать и не питать отрицательные образы предмета в сознании следует максимально упростить объяснение первых тем курса, облегчив первые задания. Также, с целью ускорения понимания предмета, и для того чтобы не создавались отрицательные образы, необходимо постепенно развивать навыки правильных графических построений с полным пониманием элементарных операций.

Обзор основных дидактических принципов обучения инженерной графике

Тявловская Т.М., Коноплицкая И.А.

Белорусский национальный технический университет

Ведущим принципом обучения ИГ в технических ВУЗах является политехническая направленность обучения. Здесь предполагается овладение студентами специальными техническими знаниями.

Важным принципом является принцип систематичности и последовательности. Систематичность предполагает установление определенной периодичности учебных занятий, которая реализует и другой дидактический принцип – последовательность обучения курса: логику его построения, изучения материала от простого к сложному.

Принцип сознательности и активности – как один из важных принципов нацеливает на формирование у студентов сознательного усвоения графических знаний, умений вникать в их сущность, самостоятельно изучать дополнительный материал. Этот принцип реализуется при участии студентов в конференциях и олимпиадах, которые проходят на кафедре.

Принцип наглядности, обеспечивающий лучшее усвоение материала. Реализуется этот принцип при работе с моделями, стендами и плакатами.

Принцип усвоения знаний – выражается в такой постановке обучения, при которой учащиеся могут воспроизвести ранее изученный материал и использовать его в практических целях. Этот принцип нельзя рассмотреть изолированно от ранее рассмотренных, т.к. знания будут тем прочнее, чем сознательнее студент работает над материалом, чем богаче и разнообразнее запас наглядных образов, связанных с этим материалом.

Прочность усвоения студентами знаний и закрепления полученных навыков зависит от различных факторов - методики изложения учебного материала, дидактического обеспечения обучающего процесса, активности студентов на практических занятиях и при выполнении индивидуальных расчетно-графических работ, желания преодолеть трудности самостоятельно и т.д.

**Поиск средствами AutoCAD
компоновочных решений системы поворота трактора**

Щербакова О.К.

Белорусский национальный технический университет

Программа AutoCAD в настоящее время стала одной из основных автоматизированных программ для черчения и зарекомендовала себя как наиболее мощный и передовой инструмент проектирования доступный на сегодняшний день. Программа AutoCAD достаточно универсальна и имеет широкие дополнительные возможности. При проектировании и расчете системы поворота трактора необходимы компоновочные решения, которые наиболее удобно и наглядно могут быть представлены посредством программы AutoCAD. В виду того, что система поворота трактора – это сложная комплексная система, необходимые решения могут быть детально представлены узлами, которые могут быть заключены в блоки, что может достаточно облегчить трудоемкость выполнения работ и, если понадобится, можно внести изменения в конструкции. AutoCAD предоставляет также ряд команд, с помощью которых можно построить объект в 3М пространстве, подробно рассмотреть построенную модель и при необходимости внести коррективы. При проектировании системы поворота трактора 3М модель является наиболее оптимальным вариантом компоновочных решений. Из-за сложности в чтении чертежей целесообразнее применять графическую систему AutoCAD, так как она представляет чертеж более доступным для восприятия и чтения.

Используя при проектировании системы поворота трактора графическую среду AutoCAD, можно не только прочертить все необходимые узлы агрегата, расчетные схемы, но также определить траекторию движения трактора, определить кинематическую ширину захвата и минимальный радиус поворота. Графическая система AutoCAD является необходимой средой для проектирования и определения основных параметров системы поворота трактора, облегчает некоторые расчеты и помогает более детально проанализировать конструкцию.

Инструментальные средства выполнения чертежа

Скачко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Качественное обучение основам графических построений требует повышенного внимания к техническим средствам, обеспечивающим соблюдение стандартов оформления чертежей.

Минимальный объем средств выполнения чертежа включает в себя: карандаши различной твердости, угольники, рейшины, циркуль, измеритель, чертежная доска.

В связи с тем, что ошибки в создании графических документов, допущенные на каком-то этапе, приводят к браку изготавливаемой детали, важным является выбор твердости карандаша. Следует разделить карандаши по твердости на три группы: искусство - от 8В до 2Н, графика – от 5В до 5Н, техника – от НВ до 10Н.

Был проведен сравнительный анализ карандашей фирмы «Кохинор» и карандашей «Конструктор». Он показал, что при использовании карандашей 2В (фирма «Кохинор») и 2М (фирма «Конструктор») яркость линий, их структура были одинаковы. Однако прилипаемость графита к ватману у фирмы «Кохинор» выше и, как следствие, размазывание линий при дальнейшей работе меньше.

Такая же картина наблюдалась при сравнении карандашей ТМ и НВ. А вот сравнение карандашей Т и 2Т (фирма «Конструктор») и Н; 2Н (фирма «Кохинор») показало, что структура и яркость линий фирмы «Конструктор» выше. Прилипаемость графита к ватману как у карандашей одной фирмы, так и другой оказалась высокой и, как следствие, последующие добавочные прикосновения не вызывали размазывания линий как у карандашей одной фирмы, так и другой.

Рекомендации по применению.

Сравнительный анализ линий от карандашей (структура, яркость, прилипаемость графита к бумаге) показывает, что карандаши более мягкие 2В, В, НВ, F предпочтительны от фирмы «Кохинор». Карандаши более твердые Т, 2Т предпочтительны от фирмы «Конструктор».

Использование покадровой анимации в решении задач по начертательной геометрии

Бушило И.Д., Лукьянович И.Р.

Белорусский национальный технический университет

Процесс решения практически любой задачи курса начертательной геометрии можно представить некоторой совокупностью шагов по преобразованию размера, формы, положения объекта. Изменение этих свойств объекта во времени называется анимацией. Традиционные технологии обучения – объяснение лектора у доски, проработка учебников и методических пособий, просмотр учебных видео- и слайд-фильмов – в большой степени позволяют отразить ключевые моменты методики решения задач, но обладают рядом недостатков. Ограничения лекции по времени и бумажного носителя информации по объему уменьшают степень подробности изложения. Скорость смены кадров видеофильма, количество и содержание слайдов определяются их создателями и не всегда соответствуют скорости восприятия студента. Кроме того, вернуться к некоторому шагу объяснения позволяют только книга и слайды. Компьютерная графика и мультимедиа меняют технологию и идеологию проектирования, дают возможность реализовать любые методические приемы и устранить отмеченные недостатки традиционных технологий обучения графическим дисциплинам. Компьютерная анимация по определению соответствует методологии решения задач начертательной геометрии и представляет все инструментальные средства ее реализации. Различают следующие основные типы анимированных изображений: анимированный gif, move-клип, демонстрации в power-point, демо-ролики, созданные в специализированных пакетах программ, Flash-анимация. Важнейшими критериями выбора типа анимации и инструментов его создания, являются – достижимая степень интерактивности, распространенность средств воспроизведения, размер файла, что особенно важно при создании Интернет-приложений для дистанционного образования. Этим критериям наилучшим образом отвечает Flash-технология, реализующая покадровую анимацию, морфинг и анимацию с построением промежуточных изображений.

Методы Flash-анимации при создании обучающих роликов по начертательной геометрии

Бушило И. Д., Лукьянович И. Р.

Белорусский национальный технический университет

Важнейшими методами создания анимации во Flash являются покадровый методы и методы автоматического построения промежуточных кадров. Кадр содержит одно статическое изображение. При последовательном просмотре таких изображений создается иллюзия движения. Ключевые кадры, которые служат для внесения изменений в анимацию, создаются разработчиком, промежуточные кадры могут быть созданы автоматически. Покадровая анимация (frame by frame) представляет собой последовательность ключевых кадров. Типичными ключевыми кадрами при создании обучающих роликов по начертательной геометрии являются главные события сценария: возникновение осей, точек, текста и других объектов, начало отрисовки линий связи и их завершение и пр. Анимация с автоматическим построением промежуточных кадров при перемещении объекта или изменении его характеристик (motion tweening) содержит ключевые кадры в начале и конце временной шкалы. Особым ее типом является преобразование одного объекта в другой (shape tweening). Промежуточные кадры автоматически строятся между ключевыми кадрами - опорными точками анимации. Такая техника значительно ускоряет процесс создания анимации и существенно уменьшает размер ролика в сравнении с покадровой анимацией. Анимация типа motion tweening применяется для создания эффекта движения объекта, позволяет менять размер, цвет и ориентацию на сцене. Построением промежуточных кадров можно управлять с помощью изменения параметров типа анимации (shape tweening и path tweening), задания вращения, указания сложной траектории движения. Можно изменять скорость воспроизведения промежуточных кадров и некоторые другие установки. Важнейшей особенностью при создании роликов по начертательной геометрии является возможность встраивать действия (action) в ключевые кадры и таким образом управлять демонстрацией.

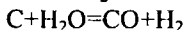
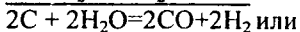
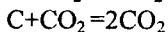
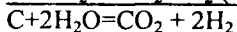
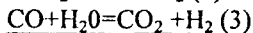
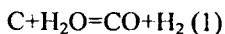
Химия процесса водоугольной газификации (ВУГ) или разложение воды углеродом твердых топлив

Киселев Л.И., Назаров Н.С., Терентьев А.А.

Белорусский национальный технический университет

Все исследователи едины во мнении, что разложение воды (водяного пара) углеродом осуществляется по двум основным химическим уравнением [1] $C+H_2O=CO+H_2$ (2) $C+H_2O=CO_2+2H_2$. Причем считается, что при сравнительно низких температурах процесс протекает по реакции (2), а при более высоких – по реакции (1). Для осуществления химической реакции участвующие в ней молекулы должны приблизиться друг к другу на очень близкое расстояния, чтобы оказалось возможным взаимодействие (столкновение) между ними. Вероятность одновременного столкновения 3-х и более молекул ещё маловероятней. Следовательно, первичной реакцией взаимодействия паров воды с углеродом следует считать реакцию (1). Сама реакция может проходить по сложному пути в результате ряда реакций, в которых образуется и исчезает промежуточные вещества, то резонно предположить, что процесс (ВУГ) описывается 2-мя последовательными реакциями, т.е. $C+H_2O=CO+H_2$ (1) $CO+H_2O=CO_2+H_2$ (3) $C+2H_2O=CO_2+2H_2$ (2). Равновесие в газовой фазе (не зависимо от давления) определяется только температурой. Гетерогенная реакция (1) и последующая гомогенная газовая реакция (3) протекают почти одновременно. Экспериментальные исследования показывают быстрое падение относительного содержания водорода в продукте с увеличением температуры выше 610-620 К.

Таким образом, химию процесса (ВУГ) следует описывать следующими химическими реакциями в следующей последовательности.



Тематика и взаимосвязь курса лекций, практических занятий и индивидуальных заданий курса инженерной графики для студентов энергетического факультета

Киселев Л.И., Киселева Н.Л.

Белорусский национальный технический университет

В связи с некоторым увеличением количества часов на практические занятия для студентов дневного и заочного отделения энергетического факультета была переработана рабочая программа курса «Инженерная графика».

Это позволило более четко, последовательно и взаимосвязано построить курс лекций, практических занятий и индивидуальных заданий, что дало возможность более глубокого изучения и освоения геометро-графической задачи, т.е. изучение рациональных алгоритмов решения метрических и позиционных задач графическими способами.

В курсе лекций первого семестра предлагается обратить пристальное внимание на тему 8 - «Нанесение размеров», тему 11 - «Пересечение геометрических образов» (пересечение прямых, прямой с плоскостью, пересечение двух плоскостей, пересечение прямой с поверхностью, пересечение различных поверхностей). Эти темы требуют более глубокого рассмотрения и изучения.

Тема 17 «Перпендикулярность прямой и плоскости» требует четкого понимания алгоритма решения множества задач на эту тему, значительно расширяет кругозор студентов и развивает пространственное воображение.

В перечень индивидуальных заданий первого семестра предлагается ввести задания «Трубопровод», «Пересечение двух пластинок» и «Построение перпендикуляра к плоскости».

По нашему мнению, эти изменения позволяют значительно улучшить подготовку студентов, учат их работать более творчески, позволяют им полнее осмыслить и усвоить материал нашего предмета.

Разработанная программа создает методические и дидактические предпосылки для внедрения в учебный процесс такой прогрессивной формы, как дистанционное обучение.

**3D-моделирование при изучении компьютерной графики
студентами конструкторских специальностей**

Марамыгина Т.А., Гиль С.В.

Белорусский национальный технический университет

Реализуемые современными САД-системами методы трехмерного моделирования - твердотельного, поверхностного, гибридного - коренным образом изменяют методологию проектирования и подготовки производства: главным, первичным носителем информации о проектируемом объекте становится его 3D-модель (электронный макет), а создаваемые по этой модели чертежи представляют собой вторичную форму отображения объекта. Электронный макет, являющийся наиболее полным, точным и наглядным носителем информации о проектируемом изделии, служит основным звеном в развитии имитационных методов виртуальной инженерии - технологий быстрого прототипирования, симуляции механообработки деталей на станках с ЧПУ, анализа конфликтных ситуаций в сборках и т.д.

Весьма актуальным в настоящее время является использование новых информационных технологий при изучении дисциплины "Компьютерная графика" студентами конструкторских специальностей. Первостепенное внимание следует уделять именно 3D-моделированию, сводя, по возможности, до минимума применение САД-систем лишь в качестве «электронного кульмана». Выполнение чертежей технических изделий по их 3D-моделям обычно оказывается значительно менее трудоемким и длительным, чем в том случае, когда САД-системы используются только в режиме «электронного кульмана». Широкие возможности визуализации и создания фотореалистичных изображений позволяют работать в режиме реального времени с тонированными изображениями твердотельной модели.

В учебных планах инженерных ВУЗов целесообразно увеличить количество учебных часов, отводимых на освоение студентами 3D-моделирования с применением современных САД-систем, что несомненно будет способствовать интенсификации обучения с одновременным повышением качества подготовки инженерных кадров, владеющих новейшими информационными технологиями.

**Новые образовательные технологии
в практической реализации дидактических принципов
обучения на кафедре «Инженерная графика м/п»**

Гиль С.В.

Белорусский национальный технический университет

Необходимость формирования модели инновационного образования стала ответом на возросший уровень научно-технического и социально-экономического потенциала современного общества. Инновации в системе образования в целом связаны с ее обновлением. Эти общие направления касаются и содержательной стороны образования, и технологий осуществления обучения. При этом, наполняя модель инновационного образования новым содержанием с использованием современных средств и возможностей информационных технологий, мы должны учитывать, что в основе теории обучения лежат аксиоматические принципы обучения, которые являются необходимыми средствами в построении и функционировании системы учебного процесса и её компонентов. Принципы организации учебного процесса по кафедре «Инженерная графика машиностроительного профиля» БНТУ сформированы на основе обобщения педагогического опыта и результатов научных исследований преподавателей кафедры. Система их следующая: научность; связь теории с практикой; систематичность и последовательность; единство конкретного и абстрактного; доступность; сознательность и активность обучающихся; прочность усвоения студентами знаний, умений и навыков. Все принципы заложены в основу и в той или иной степени внедрены в учебный процесс кафедры. Избирая приоритетным направлением внедрение инновационных технологий, как непосредственно в учебный процесс, так и в его организационные составляющие с учётом аксиоматических принципов обучения, разработана учебная программа по дисциплине для 3-х семестровых групп с учётом выраженных межпредметных связей, специализации и профилизации на завершающем этапе обучения; для повышения информативности и наглядности разработаны плакаты по темам «Виды. Разрезы. Сечения», «Резьбы», автоматизированные обучающие лекции-презентации по отдельным темам дисциплины.

Вопросы изучения студентами конструкторских специальностей современных сборочных единиц и систем управления, внедряемых в промышленности

Марамыгина Т.А., Кучура О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Специализированные фирмы всего мира постоянно создают принципиально новые и совершенствуют традиционные комплекующие сборочные единицы, системы управления и приводы, используемые в промышленности.

В докладе подробно рассматриваются конструктивные особенности и основные технические характеристики следующих сборочных единиц и систем управления: передачи качения винт-гайка (шариковые и роликовые), направляющие качения (шариковые и роликовые), моторы-шпиндели, линейные электродвигатели, круговые встраиваемые электродвигатели, преобразователи частоты (инверторы) с большим диапазоном регулирования оборотов двигателей (до 2000).

Сравнительный анализ этих современных сборочных единиц и систем управления с аналогичными традиционными позволяет сделать следующие выводы: внедрение этих новейших разработок повышает производительность, точностные параметры, коэффициент полезного действия, надежность и долговечность, гибкость и ремонтоспособность оборудования, значительно уменьшает металлоемкость и энергоемкость, а также существенно упрощает кинематику оборудования.

В докладе обосновывается необходимость построения учебного процесса с учетом современных тенденций и достижений в машиностроительной отрасли и актуальность изучения студентами конструкторских специальностей новейших технических разработок в рамках типовых учебных программ, предметных кружков, студенческих научно-технических конференций, а также на этапах преддипломной практики и дипломного проектирования. Такой подход к преподаванию инженерной графики и других технических дисциплин несомненно будет способствовать интенсификации обучения и позволит значительно повысить уровень конструкторской подготовки будущих высококвалифицированных специалистов.

**Роль трехмерного геометрического моделирования
в решении учебных технических задач**

Белякова Е.И., Сульжиц С.С.

Белорусский национальный технический университет

В условиях дефицита учебных часов и на фоне отсутствия какой-либо графической подготовки в средних общеобразовательных учебных заведениях одним из путей обеспечения качественного обучения по предмету инженерная графика является создание необходимых условий для самостоятельно изучения дисциплины. Учитывая специфику дисциплины, важную роль при этом играют наглядные средства обучения – стенды по темам, образцы выполнения заданий, поэтапное отражение графических алгоритмов их выполнения. Поскольку инженерная графика – новая дисциплина, с которой студенты начинают своё обучение в технических вузах, наряду с продолжением изучения математики, физики и химии, уровень технических знаний, необходимый для этого, у них практически отсутствует. В этом – одна из дополнительных проблем, которую необходимо преодолевать параллельно с изучением самой дисциплины. Наглядность предварительного отображения всегда являлась действенным методом облегчения построения чертежей геометрических и машиностроительных объектов в процессе практического обучения. Компьютерные технологии открывают большие возможности в реализации этого направления в методике изучения инженерной графики. В частности, создание 3-мерной компьютерной графической модели позволяет не только демонстрировать посредством мультимедийных средств особенности формообразования вычерчиваемого объекта, но и выбрать предпочтительные ракурсы его отображения для стендов, методических пособий, других дидактических материалов. При этом может быть имитирован любой материал, из которого, как правило, изготавливают объект, выбрано для отображения его необходимое освещение, представлены секущие плоскости и т.п. В мультимедийном режиме отображения изучаемой темы большую помощь окажут анимационные возможности компьютерных технологий.

**Повышение качества графической подготовки студентов
в условиях дефицита учебного времени**

Зелёный П.В.

Белорусский национальный технический университет

Отсутствие графической подготовки в системе общего среднего образования создаёт дополнительные трудности при изучении инженерной графики в технических вузах, особенно основополагающего раздела этой дисциплины – начертательной геометрии. Основная причина – неразвитое пространственное воображение геометрическими образами у студентов на первых курсах, а также отсутствие у большинства представления об образовании проекционных изображений – основы чертежа. Эти проблемы в развитии выпускников средних школ в одночасье не решаются. С другой стороны в вузе учебное время на изучение инженерной графики сведено к минимуму и не представляется возможным обеспечивать надлежащий уровень графической подготовки простым путём – предусматривать больше времени на изучение дисциплины в учебных планах.

В условиях дефицита учебного времени для повышения качества графической подготовки учебный процесс должен быть более интенсивный – в отведенное учебными планами время студент больше получает заданий на самостоятельную проработку, а всё дидактическое обеспечение должно обеспечивать высокую эффективность этой работы студента. В первую очередь, при массовом потоке студентов, что имеет место на кафедрах, занимающихся подготовкой по общепрофессиональным дисциплинам, большая роль должна отводиться наглядным стендам по изучаемым темам, стендам со справочными данными, образцам выполнения заданий. При этом информация должна быть так проработана, чтобы выполнение учебных заданий было возможным без участия преподавателей. Необходимо также использовать и современные возможности компьютерных технологий – электронные издания с дистанционным доступом, алгоритмы поэтапного выполнения заданий, мультимедийные обучающие программы, анимационное отображение изучаемого материала, к чему графические дисциплины уже по своей сути имеют большое предрасположение.

Разработка методики аттестации по инженерной графике с учетом специфики военно-технических специальностей

Толстик И.В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе самоконтроля БНТУ в 2008г., на военно-техническом факультете у курсантов 3-го курса проводилась комплексная контрольная работа. Одной из выбранных дисциплин была инженерная графика. Контрольная работа по инженерной графике проводилась с целью самооценки уровня остаточных знаний и навыков курсантов, полученных ими при изучении данного предмета на 1-м и 2-м курсах. Эта процедура была новой для ВТФ и потребовала большого объема подготовительной работы.

Была разработана методика аттестации по инженерной графике с учетом специфики военно-технических специальностей. Практическое задание предусматривало выполнение рабочего чертежа вала по чертежу общего вида с нанесением размеров без числовых значений. Были разработаны методические рекомендации по проведению контрольной работы по инженерной графике, в которых излагался порядок ее выполнения, рассмотрены включенные темы и теоретические задания, а также дан список литературы для повторения пройденного материала.

Аттестация проходила в обстановке требовательности, принципиальности и доброжелательности, исключающей проявления субъективизма и необъективности. Целью аттестации была комплексная и объективная оценка качества усвоения курсантами теоретических знаний, умения применить полученные знания для решения практических задач как при изучении ряда общеинженерных и специальных дисциплин, так и в последующей инженерной деятельности. Комплексная контрольная работа в целом, и по инженерной графике в частности, позволила оценить работу студентов за начальные курсы обучения, определить уровень полученных теоретических знаний и прочность их усвоения, умение синтезировать приобретенные знания и применять их в решении практических задач, а также принять решения по улучшению качества учебного процесса.

**Апробация критериев оценки качества
успеваемости по отдельным темам инженерной графики**

Толстик И.В.

Белорусский национальный технический университет

Контрольная работа по инженерной графике заключалась в самостоятельном выполнении курсантами проверочной работы по разделу «Машиностроительное черчение». Аттестация проводилась для определения фактического уровня полученных знаний в объеме, согласно требований учебных программ Министерства образования и оценке их качества.

КР предусматривала количественную оценку полученных теоретических знаний и их глубину, развитие пространственного мышления, приобретение навыков самостоятельной работы.

Для количественной оценки знаний использовалась десятибалльная шкала отметок результатов учебной деятельности. На контрольной работе присутствовало 40 человек. Итоги проведения аттестации следующие: оценку 9 (девять) получили 7 студентов; 8 (восемь) – 14; 7 (семь) – 13; 6 (шесть) – 3; 5 (пять) – 2; 4 (четыре) – 1. Анализ результатов показал, что успеваемость студентов повысилась, а в сравнении с результатами экзамена по «Инженерной графике» (январь 2005/2006 учебного года) средний балл стал намного выше. Для сравнения: средний балл экзамена – 5,9 контрольной работы – 7,1. Лучшими оказались курсанты гр.115315, средний балл – 8,0

Результаты контрольной работы показали, что курсанты имеют достаточно высокий уровень знаний по инженерной графике. Оценка знаний, показанных ими на КР, всесторонне отразила уровень их подготовки, выявила умение решать конкретные задачи. В результате контроля знаний курсантов 3-го курса специальностей: I-36 11 01 – «Подъемно - транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование. Управление подразделениями инженерных войск»; I-37 01 04 – «Многоцелевые гусеничные и колесные машины»; I-37 01 06 – «Техническая эксплуатация автомобилей» были получены результаты, позволяющие положительно оценить качественный уровень начального цикла подготовки специалистов ВТФ. Результаты ККР показывают, что все курсанты успешно выдержали аттестацию.

Графическое моделирование в исследовании поворачиваемости трактора

Щербакова О.К.

Белорусский национальный технический университет

Тракторный транспорт играет огромную роль в сельском хозяйстве, и его значение из года в год возрастает. Возрастает также требования к техническим, эксплуатационным, эргономическим показателям. Поворотливость агрегата занимает определенную позицию в данном перечне, так как сокращение холостого движения машинно-тракторного агрегата повышает его рабочий путь за смену, что способствует росту производительности труда и снижению затрат энергии. Переход движения трактора с траектории, близкой к прямолинейной, при рабочем ходе к движению с минимально допусаемым радиусом поворота происходит не мгновенно, а постепенно. Такие переходы называют «входом в поворот» и «выходом из поворота». Вход в поворот или выход из него совершается по кривой переменной кривизны, которая характерна тем, что радиус кривизны каждой точки кривой обратно пропорционален пройденному пути, и следовательно, тем, что произведение длины пути, пройденного по кривой перехода (при постоянной скорости движения), на радиус кривизны есть величина постоянная.

Для исследования поворотливости трактора на графических моделях необходимо изучить кинематические характеристики рабочего участка агрегата и нанести на план, выполненный в масштабе. Разбивку произвести заблаговременно, до начала выполнения работ. Так как для машинно-тракторных агрегатов характерно сложное движение по полю, в виду того, что рабочие органы движутся по различным траекториям, поэтому принято все движение характеризовать одной точкой – кинематическим центром агрегата. Необходимо также определить кинематическую ширину и длину агрегата. Важной кинематической составляющей является центр поворота – это условная точка на местности, вокруг которой совершается поворот агрегата, а расстояние между центром агрегата и центром его поворота называется радиусом поворота.

УДК 515(076.1)

**Методика выполнения чертежа сборочной единицы
в графическом пакете AUTOCAD**

Драченев В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Процесс создания чертежа сборочной единицы начинается с вычерчивания рабочих чертежей деталей входящих в этот узел. При выполнении рабочих чертежей отдельных деталей узла необходимо работать со слоями. Основной слой используется для изображения внешнего и внутреннего (при выполнении разрезов) контура детали. На слое “Штриховка” показывается изображение штриховки в зависимости от положения спрягаемых деталей. Угол наклона и расстояния между линиями штриховки можно менять. На слое “Размеры” наносим размеры на рабочих чертежах деталей. При создании сборочного чертежа необходимо отключить этот слой, на слое “Штриховка” изменить угол наклона штриховки.

УДК 744.621

**Создание компьютерной базы данных
для выполнения лабораторной работы,
связанной с различного рода уплотнениями**

Белякова Е. И., Аношко В. А.

Белорусский национальный технический университет

Уплотнительные соединения в машиностроении широко распространены и имеют важное значение. Выполнения рабочих чертежей этих элементов является важной частью всего техпроцесса. Для облегчения этого рода деятельности необходимо создание компьютерной базы данных, содержащей стандартные изображения и параметры самых распространённых видов уплотнительных соединений. Такая база данных облегчает и ускоряет процесс изготовления чертежа. Созданный стенд с такого рода документацией позволяет студентам справляться с учебными заданиями, содержащими чертежи уплотнительных соединений. Это актуально сейчас, когда компьютеризация приобретает всё большее применение.

Стенды как средства для самостоятельной подготовки студентов

Ким Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях дефицита объема учебного времени увеличивается доля самоподготовки в процессе обучения, что требует повышенного внимания к перераспределению трудозатрат в пользу индивидуальной работы. В связи с этим возникает необходимость в изыскании новых средств. К числу таких средств обучения относятся наглядные пособия, в частности демонстрационные стенды.

На кафедре «Инженерная графика машиностроительного профиля» БНТУ совместно с ОАО «Универсал» создан стенд по теме: «Резьбовые соединения». Стенд включает в себя натурные образцы резьбовых соединений, выполненные из металла, их чертежи, справочные данные по крепежному инструменту. Кроме того, выполнена фотография соединения, на которую наложен чертеж этого соединения, выполненный на прозрачной пленке. Это позволяет наглядно проиллюстрировать структуру линий при изображении резьб.

Стенд включает в себя материалы, иллюстрирующие технологические процессы изготовления крепежного инструмента и образец чертежа (соответственно учебному заданию). На этом чертеже показаны отдельными выносками конструкции крепежного инструмента со ссылками на справочные данные, которые приведены на этом же стенде.

Для удобства пользования каждая группа крепежного инструмента вычерчена определенным цветом, в котором отпечатаны и справочные данные по этому инструменту. Так, например все гайки вычерчены синим цветом. Таким же цветом выполнены и таблицы, в которых приводятся размеры гаек.

На стенде приведены наглядные изображения собираемого узла в общем виде, в разрезе и в виде взрыв-схемы, представляющей раздельную аксонометрию составляющих деталей.

Таким образом, студент в состоянии самостоятельно получить всю необходимую информацию для выполнения учебного задания по резьбам.

Выбор остается за студентами

Куранова О.В., Галаев К.

Белорусский национальный технический университет

Современные тенденции в инженерном образовании, связанные с информатизацией общества, внедрением в различные сферы деятельности человека компьютерных технологий.

Одной из графических программ, помогающей студентам в инженерной графике, является КОМПАС-3D. Ее основная задача – моделирование изделий с целью существенного сокращения периода проектирования. Это достигается благодаря: быстрому получению конструкторской документации (сборочных чертежей, спецификаций и т.д.); передаче геометрии в пакеты программ для оборудования с ЧПУ; созданию дополнительных изображений изделий и иллюстраций к технической документации. Система трехмерного твердотельного моделирования предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

При разработке функций и интерфейса КОМПАС-3D учитывались приемы работы, присущие машиностроительному проектированию. Совместно с любым компонентом КОМПАС-3D может использоваться модуль проектирования спецификаций, позволяющий выпускать разнообразные спецификации, ведомости и прочие табличные документы. Документ-спецификация может быть ассоциативно связан со сборочным чертежом (одним или несколькими его листами) и трехмерной моделью сборки. Эксплуатация такой программы позволила бы студенту за более короткое время создавать объёмные модели, а он сам определит, каким методом (карандаш или новая программа) ему воспользоваться.

**Информационно-
измерительная техника
и технологии**

**Применение метода статического конденсатора
в измерениях параметров пространственного распределения
структурных дефектов**

Воробей Р. И., Тявловский К. Л., Ананчиков И. А.
Белорусский национальный политехнический университет

Метод статического конденсатора используется для бесконтактных измерений электростатического потенциала поверхности проводящих объектов. Однако в традиционной методике невозможно измерять параметры распределения электрического потенциала, связанного со структурными дефектами приповерхностного слоя, из-за относительно больших размеров отсчетного электрода – единицы миллиметров.

В разработанной методике используется дистанционная зависимость компенсирующего напряжения от межэлектродного зазора. Математическое моделирование показало существование нескольких типов такой зависимости, которые, в свою очередь, определяются наличием и типом структурных дефектов в приповерхностной области объекта контроля. Результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными при исследовании таких объектов, как полупроводниковые структуры на основе Si и GaAs, изделия из металла, изделия из металла с диэлектрическими покрытиями толщиной до 0,5 мм, тонкопленочные проводящие покрытия с минимальной толщиной до 100 нм на подложках из металла или диэлектрика.

В дистанционной зависимости компенсирующего напряжения величина напряжения при удалении отсчетного электрода соответствует среднему значению потенциала поверхности, а размах зависимости СКО пространственного распределения потенциала в проекции отсчетного электрода. Размеры обнаруживаемых дефектов в разработанной методике ограничиваются только длиной экранирования электрического поля структурных дефектов в приповерхностной области объекта контроля. Таким образом, разработанная методика позволяет измерять параметры пространственного распределения структурных дефектов с использованием отсчетного электрода с размерами, существенно превышающими размеры обнаруживаемых дефектов.

Измерительный преобразователь зонда Кельвина с двухконденсаторным чувствительным элементом

Тявловский К. Л., Ананчиков И. А.

Белорусский национальный политехнический университет

Одним из неразрушающих методов, характеризующимся высокой чувствительностью к любым изменениям в структуре приповерхностных слоев, является зонда Кельвина. В различных конфигурациях метода конденсатор чувствительного элемента, обкладки которого образованы поверхностью контролируемого изделия и поверхностью отсчетного электрода, может представлять собой динамический или статический конденсатор. При использовании вибрирующего электрода чувствительность измерительного преобразователя высока и минимальные размеры отсчетного электрода могут составлять доли миллиметра. Однако конструкция измерительного преобразователя намного сложнее конструкции со статическим конденсатором. Метод статического конденсатора имеет существенно меньшую чувствительность (минимальные размеры отсчетного электрода около десяти миллиметров), но простую конструкцию измерительной ячейки и позволяет вводить в методику измерения дополнительные воздействия, расширяющие функциональные возможности метода контроля. Двухконденсаторный метод комбинирует достоинства и недостатки методов динамического и статического конденсатора. Снижение чувствительности двухконденсаторного преобразователя компенсируется увеличением размера отсчетного электрода, которые меньше, чем для преобразователя со статическим конденсатором.

Используемый метод контроля основан на представлении конденсаторного чувствительного элемента, образованного микронеоднородной поверхностями объекта контроля и отсчетного электрода, в виде совокупности множества конденсаторов каждый из которых образован однородным микроучастком объекта контроля. При этом реализуются все преимущества метода статического конденсатора и достигается высокая обнаружительная способность к локальным отклонениям электрического потенциала поверхности.

**Контроль условий проведения испытаний
пожарных извещателей**

Зуйков И.Е., Антошин А.А., Есипович Д.Л.*

Белорусский национальный технический университет

НИИ пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций*

В работе выполнен анализ факторов влияющих на погрешность оценки концентрации продуктов сгорания в воздушной среде, определяемой по результатам измерения ее оптических свойств.

Использование созданного измерителя экстинкции позволяло контролировать концентрацию дыма из измерений оптической плотности или коэффициента экстинкции.

Для оценки погрешности значения концентрации дыма, получаемой из измерения оптической плотности или коэффициента экстинкции, выполнены исследования дрейфа выходного сигнала измерителя экстинкции в условиях, когда окружающая среда не содержит дыма и в условиях, когда в испытательной камере имеется очаг пожара не производящий дым. Исследование линейности измерителя производилось с использованием нейтральных фильтров соответствующих дыму низкой и высокой плотности для пропускания от 10 до 1%. В течение 20 минут дрейф интенсивности излучения измерителя оптической плотности не превышал в большинстве случаев $\pm 0,1\%$. Более критичным в рассматриваемой измерительной системе является дрейф интенсивности пучка при нагревании окружающего воздуха.

Выполненные измерения при нагревании окружающего воздуха показали, что изменения, связанные с нагревом не превышают $\pm 0,1\%$. Выполнялось также измерение сигнала фотоприемника при выключенном излучателе. Полученные значения позволяют измерять интенсивность прошедшего излучения составляющую 0,1% от падающего.

В результате выполненных исследований созданы средства измерений характеристик задымленной среды и выполнена оценка возможных погрешностей при проведении испытаний пожарных извещателей.

**Система тестирования параметров кольцевых лазеров
с вибрационной подставкой**

Зуйков И.Е., Оксенчук И.Д.

Белорусский национальный политехнический университет

В настоящее время гироскопы являются наиболее ответственными элементами навигационных систем. Точность их работы определяет точность самих систем, поэтому развитию гироскопов уделяется исключительно большое внимание. В настоящее время серийно выпускаются лазерные гироскопы (ЛГ), имеющие дрейф на уровне $2 \cdot 10^{-3} — 5 \cdot 10^{-1}$ °/ч.

Производство ЛГ является высокотехнологичным, дорогим и трудоемким процессом. На стадии создания изделий требуется контроль параметров и характеристик кольцевых лазеров (КЛ), что во многом определяет качество конечного продукта и его цену.

Для определения параметров КЛ при производстве в НИЛ ОЭП создан стенд тестирования кольцевых лазеров (СТ КЛ). Он представляет собой плиту из дюралюминия размером 260x340x6 мм, на которой установлены все системы обеспечения КЛ, контроллерный модуль и сменный узел крепления КЛ. Общая высота стенда без учета размеров КЛ менее 50 мм. Наличие сменного узла крепления КЛ обеспечивает универсальность, и позволяют исследовать параметры КЛ различной конструкции.

Питание СТ КЛ осуществляется от сети переменного напряжения 220В.

Реализовано полное программное управление всеми подсистемами стенда.

Используемое программное обеспечение позволяет тестировать широкую номенклатуру параметров КЛ. Оно устанавливается на персональный компьютер (ПК) и работает в среде Windows 98, Windows 2000, Windows NT.

Связь ПК с СТ КЛ осуществляется по интерфейсу RS-232 или RS-422 по выбору.

О расширении учебного курса "Программируемые цифровые устройства" и добавлении в него устройств типа "программируемая система на кристалле" (PSoC)

Кривицкий П.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время одной из основных дисциплин специализации на кафедре "Информационно-измерительная техника и технологии" является учебный курс "Программируемые цифровые устройства".

Данная дисциплина преподается на 4 курсе после дисциплины "Схемотехника аналоговых и цифровых устройств" и в качестве развития последней. Изучаемые программируемые цифровые устройства подразделяются на 2 основных типа – микропроцессоры (с программой, реализующей некоторый алгоритм) и ПЛИС (с программируемой структурой, задаваемой соединением и настройкой ее блоков).

За последние 5-10 лет развитие технологии изготовления микросхем привело к появлению принципиально нового класса полупроводниковых приборов – программируемых систем на кристалле. В таких микросхемах реализовано микроконтроллерное ядро и матрицы одинаковых программно конфигурируемых цифровых и аналоговых блоков с системой их коммутации. Такие микросхемы позволяют реализовывать фактически без дополнительных компонент широкий набор типовых электронных устройств измерительной техники.

Типичным примером микросхем данного класса является семейство CY8C29xxx фирмы Cypress, с применением которых уже проведены пробные учебные практические занятия. В учебных занятиях использовалась программная среда проектирования PSoC Express. Оказалось, что студенты достаточно легко усваивают данный учебный материал, но испытывают некоторые сложности в ручной доработке программного кода. Поэтому знакомство с встроенным в CY8C29xxx микропроцессором M8C целесообразно начать в осеннем семестре обучения, а в весеннем семестре заняться непосредственно изучением структуры программно конфигурируемых цифровых и аналоговых блоков и формированием навыков их проектирования на их основе.

Программирование обмена данными компьютера с измерительным устройством по UART-интерфейсу

Кривицкий П.Г.

Белорусский национальный технический университет

Для современных устройств измерительной техники характерны гибкость и многофакторность режимов управления, большой объем и высокая информативность выходных данных.

К устройствам такого типа относятся измерители угловых перемещений, разработка которых ведётся в НИЛ оптико-электронного приборостроения БНТУ. Была разработана компьютерная программа для управления таким измерителем угловых перемещений и съема с него экспериментальных наборов данных, используемых для его наладки и оптимизации режима работы.

Программа представляет собой оконное приложение-монитор, работающее в среде Windows. Прибор подключается к компьютеру по стандартному последовательному UART-интерфейсу (RS-232 или RS-422). Для подключения прибора компьютеру оказалось удобным использовать переходник USB-COM с более высокой скоростью передачи информации и улучшенным буферированием передаваемых данных, существенно повышающим надёжность обмена.

В управляющем окне приложения (вкладка CONTROL) задаются настройки измерительного прибора и отображаются текущие выходные данные прибора. Построение графика вводимого лазерного сигнала производится в реальном времени на вкладке GRAFIK. На вкладке DATA-UTIL программы расположены элементы интерфейса, предназначенные для извлечения данных в текстовом табличном виде из двоичного файла дампа выходной информации, поступающей в ПК от микроконтроллера системы обеспечения измерительного прибора через последовательный порт. Выходной текстовый файл можно затем легко импортировать в математические пакеты MCAD, MATLAB для анализа и построения графиков различных зависимостей.

Таким образом, разработанный программный продукт позволил автоматизировать работу измерительного прибора и существенно улучшить его эксплуатационные характеристики.

Выбор и оптимизация параметров ошумления вибрационной подставки кольцевых лазеров

Оксенчук И.Д.

Белорусский национальный политехнический университет

В практических конструкциях лазерных гироскопов (ЛГ) наиболее широкое распространение получил метод устранения влияния захвата в кольцевом лазере (КЛ) за счет периодического покачивания его резонатора (так называемая механическая подставка, или виброподвес). Но в КЛ с периодической подставкой проявляется нежелательный эффект: параметрическая синхронизация сигнала биений сигналом коммутации подставки. Для разрушения процесса синхронизации биений чаще всего используется преднамеренное введение шумовых возмущений.

В докладе приведены результаты по оптимизации параметров шума использовавшегося для ошумлении амплитуды напряжения подаваемого на вибропривод КЛ.

Генерация шума проводилась при помощи контроллера, программа работы которого позволяла получать псевдослучайные последовательности нулей и единиц нужной длительности. Контроллер с учетом полученных значений управлял напряжением на выходе ЦАП. Это напряжение затем преобразовывалось до нужной величины микросборкой управления напряжением вибропривода и подавалось на вибропривод КЛ. Спектры колебаний регистрировались цифровым анализатором спектра.

Экспериментально было показано следующее:

во-первых, резонансные свойства вибропривода не позволяют получить широкополосный спектр шума в колебаниях КЛ;

во-вторых, следует проводить случайное изменение амплитуды напряжения подаваемого на вибропривод не на каждом периоде колебания вибропривода, а через несколько периодов. Выполнение данного условия позволяет повысить спектральную мощность шума в угловых колебаниях кольцевого лазера;

в-третьих, нужно использовать шумовую последовательность достаточной длины, чтобы избежать чрезмерной дискретизации спектра шума.

Разработка методов хранения, воспроизведения и передачи единиц размера параметров многокомпонентных растворов на основе электронных эталонов

Свистун А.И., Тявловский А.К., Лукинов К.А.
Белорусский национальный технический университет

Наиболее существенным фактором, вносящим методическую погрешность в результаты измерений концентрации растворов электролитов, является присутствие в растворе проводящих примесей, которые могут присутствовать изначально либо возникать в процессе нейтрализации кислотных и щелочных растворов, в результате которого образуются соли.

Моделирование указанной ситуации было выполнено на компьютере с помощью математической программы Origin 6.22. Из результатов моделирования следует, что емкость двойного электрического слоя в процессе нейтрализации изменяется почти в 10 раз, причем эта зависимость является нелинейной. Показано, что емкость C зависит только от соотношения концентраций компонентов, но не от их абсолютных значений. Продемонстрировано, что математическая модель двухкомпонентного раствора является линейной по отношению к концентрациям. Показано, что емкость двойного электрического слоя C может быть измерена методом анализа токов динамической поляризации раствора, а удельная электрическая проводимость χ – стандартным кондуктометрическим методом. Значения констант модели могут быть определены путем предварительной калибровки прибора по эталонным растворам с известным соотношением компонентов.

Для анализа реализуемости данной математической модели в принципиальной схеме электронных эталонов состава и концентрации двухкомпонентного раствора электролита было проведено компьютерное моделирование поведения электрической схемы эталона в среде Electronics Workbench. Модель продемонстрировала адекватность выходного сигнала электронного эталона реальному отклику кондуктометрической ячейки при измерениях концентрации раствора электролита.

**Методология многопараметрических измерений на основе
односигнальных адаптивных моделей**

Воробей Р.И., Свистун А. И.

Белорусский национальный технический университет

В большинстве задач технических измерений существующие базовые методы обеспечивают соответствие измерительной информации об объекте реальному состоянию измеряемых свойств. Однако в ряде случаев нестабильность свойств объектов, разнообразие технологических процессов, условий измерений, измерительных воздействий вызывает переход объектов измерений в «неопределенные» состояния, при которых нарушается априорно адекватное соответствие модели объекта, принятой для базового метода измерений, реальному состоянию его свойств в момент измерений. Это приводит к методическим погрешностям, а в ряде случаев – к грубым погрешностям (ошибкам) результатов базовых методов измерений.

В общем случае задача состоит в разработке методологии измерений параметров объектов с неопределенными состояниями, использование которой позволит разрабатывать адекватные методы и средства измерений.

Для практической реализации технических многопараметрических измерений, возникает необходимость разработки новых теоретических подходов к их метрологическому обеспечению, основанных на снижении количества измерительных каналов и включающих обоснование выбора таких физических принципов, методов и методик, посредством которых возможно осуществлять такие измерения.

Методология многопараметрических измерений базируется на концепции односигнальных адаптивных методов измерений параметров объектов в неопределенных состояниях. Она предполагает формирование многопараметрического измерительного сигнала и последовательное определение значений измеряемых величин, выступающих в качестве параметров этого сигнала. Источником текущей измерительной информации для адаптации выступает сам многопараметрический измерительный сигнал.

Автоматизированная система учета оказания медицинских услуг на базе платежно-пропускной системы

Адаменко С.В., Владимирова Т.Л., Воробей А.Р.,
Полын Ю.М., Старостин А.А., Сюськин А.М.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время появились автоматизированные медицинские системы. Внедрение таких систем направлено на создание единого информационного пространства лечебно-профилактических учреждений. Системы позволяют создать автоматизированные рабочие места врачей, автоматизировать работу кабинета медицинской статистики, создать базы данных врачей. Такие системы имеют ряд особенностей: они устанавливаются в лечебных учреждениях, не обеспечивают контроль оказания платных услуг и оздоровительных процедур, не позволяют контролировать время отпуска процедуры.

Автоматизированная система учета оказания медицинских услуг на базе ППС (платежно-пропускной системы) представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенных для обеспечения санкционированного доступа клиентов в зоны оказания платных медицинских или оздоровительных услуг, получения данных от медицинской аппаратуры с целью контроля времени отпуска процедуры, снижения финансовых потерь лечебно-профилактического учреждения, уменьшения злоупотреблений персонала.

Основной целью разработки такой системы является:

Коммерциализация деятельности медицинских и оздоровительных центров в части: оказания платных медицинских консультаций (доктора и кандидаты медицинских услуг), проведения платных медицинских обследований (пульмонология, кардиология, велоэргометрия и т.п.), предоставление платных услуг в области получения лечебных и оздоровительных процедур.

Получение данных в реальном режиме времени от медицинской и оздоровительной аппаратуры с целью использования их при проведении аналитических научных исследований. Данная система позволит получать данные для системной диагностики.

Платежно-пропускная система с автоматизированным рабочим местом «Дежурный оператор»

Владимирова Т.Л., Пилько С.В., Гапутин А.С.
Белорусский национальный технический университет

В последние годы в Республике Беларусь бурно развивается спортивно-развлекательная индустрия - открываются бассейны, стадионы, спортивно-оздоровительные комплексы, и т.п.

В результате развивается рынок платежно-пропускных систем (ППС), которые объединяют платежные системы, системы автоматизации сферы услуг, а также системы контроля доступа. В настоящее время появился качественно новый класс ППС, которые решают специфические задачи с учетом функциональных требований и особенностей каждого объекта.

К таким ППС относится «АРМ ППС». Данная система представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенных для обеспечения санкционированного доступа клиентов в зоны платных услуг, снижения финансовых потерь предприятия, повышения комфортности и привлекательности объекта, контроля денежных потоков, уменьшения злоупотреблений обслуживающего персонала.

Важной частью является аппаратура автоматической идентификации. Она необходима для идентификации персонала и оборудования, с помощью которого производится обслуживание, а также клиентов системы. В качестве идентификаторов используются идентификаторы на базе Proxi-технологии.

Программный модуль «Центральная управляющая машина» предоставляет возможность интегрировать ППС с системами видеонаблюдения и охранной сигнализации.

Наличие программного модуля «Дежурный оператор» обеспечивает оперативное реагирование на чрезвычайную ситуацию (пожарная тревога) обеспечивая разблокировку путей эвакуации. Позволяет осуществлять контроль за состоянием системы контроля доступа в реальном режиме времени. Обеспечивает выборку и просмотр событий от всех подсистем, печать данных в виде отчетной документации, а также экспорт данных в систему документооборота предприятия.

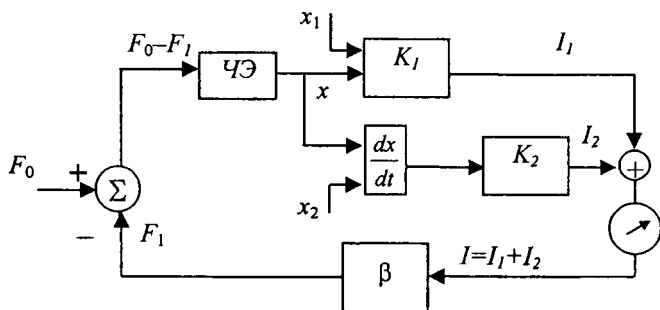
Динамика электромеханического преобразователя с силовым уравниванием и электронным демпфированием

Джилавдари И.З.

Белорусский национальный технический университет

При разработке электромеханических измерительных преобразователей (ИП), например акселерометров, содержащих массу, упруго связанную с корпусом (ЧЭ), возникают проблемы обеспечения линейности, низкого уровня аддитивных и мультипликативных погрешностей и равномерности частотной характеристики (ЧХ). Для улучшения линейности и уменьшения мультипликативных погрешностей в ИП широко используют цепь отрицательной обратной связи (ООС), обеспечивающую следящее (или силовое) уравнивание или, то же самое, компенсационное преобразование. Считается, что уменьшить аддитивную погрешность, генерируемую в цепи прямого преобразования, этим методом нельзя.

Блок-схема ИП представлена на рис. Здесь показаны цепи силового уравнивания и электронного демпфирования ЧЭ.



Сигналы x_1 и x_2 – это помехи, генерируемые в соответствующих цепях и приведенные к входам этих цепей, F_0 – полезный сигнал. В данной работе показано, что в динамическом режиме измерений в узкой полосе частот имеется возможность подавления аддитивных шумов любой природы, генерируемых в цепях силового уравнивания и электронного демпфирования, вне зависимости от уровня этого демпфирования.

**Система измерения периодов и малых амплитуд колебаний
физического маятника**

Ризноокая Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Изучению состояния поверхности твердых тел в настоящее время уделяется все больше внимания в научных и прикладных исследованиях. Среди неразрушающих методов исследования физико-механических параметров поверхности твердых тел хорошо известен маятниковый метод измерения трения качения.

Маятниковые приборы являются очень чувствительными и поэтому для наблюдения их колебаний, как правило, используют оптические системы измерения амплитуды колебаний. Для этой цели используют двух и четырех квадрантный фотоприемник или ПЗС- матрицы с микроконтроллерами, в которых и происходит обработка видеосигнала.

При наблюдении колебаний с амплитудой порядка нескольких угловых секунд эти измерения удобно проводить, используя стандартную Web-камеру.

В основе данного устройства лежит КМОП-сенсор, который фиксирует сфокусированное на нем изображение 30 раз (и менее) в секунду. Таким образом, с помощью Web-камеры можно получить большой массив фотографий (30 за 1 секунду) положения исследуемого объекта (в нашем случае положение лазерного зайчика).

Для измерения амплитуд колебаний и периодов цели нами был разработан алгоритм, в соответствии с которым, кадры с Web-камеры обрабатываются, и фиксируются координаты светового пятна. При этом эти координаты, вычисляются с учетом распределения самого пятна на матрице, что уменьшает погрешность вычисления. По полученным координатам восстанавливают траекторию движения пятна и вычисляют амплитуды колебаний и период колебаний.

Таким образом, не прибегая к специализированным приборам, можно рассчитать амплитуды и периоды колебаний, используя в качестве приемника стандартную Web-камеру.

**ИК-фотоприемники на основе полупроводников
с глубокими примесями, работающие в линейном режиме
при высоких интенсивностях света**

Гусев О.К., Шадурская Л.И., Яржембицкая Н.В.
Белорусский национальный технический университет

ИК-фотоприемники на основе полупроводников с глубокими примесями используются для создания охлаждаемых матричных ИК-приборов и систем обнаружения в диапазонах от 1,5 до 5 мкм и от 8 до 12 мкм, для волоконно-оптических линий связи.

Использование таких фотоприемников согласно ГОСТ 17772-88, ГОСТ 25369-82 осуществляется на линейном участке энергетических характеристик при невысоких уровнях инжекции, меньших некоторого порогового значения, определяемого опытным путем.

Метрологические характеристики фотоприемников на основе полупроводников с глубокими примесями определяются в основном характером рекомбинационных процессов с участием глубоких дефектов. Известно, что время жизни электронов τ_n и дырок τ_p в полупроводниках с глубокими примесями может изменяться на порядки величины и существуют две области линейной рекомбинации, т.е. постоянства τ_n , τ_p при низких и при высоких уровнях инжекции.

В работе получены аналитические выражения, определяющие диапазоны соответствия энергетической характеристики фотоприемников с глубокими примесями линейному закону (участку) работы не только при низких, но и при высоких интенсивностях оптического излучения.

Установлено, что границами диапазонов линейности энергетической характеристики фотоприемников с глубокими примесями Δp_n и Δp_p можно управлять, меняя концентрацию глубокой акцепторной примеси. Полученные результаты могут быть использованы при разработке конструкции и технологии изготовления широкодиапазонных фотоприемников на основе полупроводников с глубокими примесями, обладающих линейной энергетической зависимостью выходного сигнала в заданных диапазонах интенсивностей оптического излучения.

Потенциальный барьер как инженерный параметр в приборных структурах на основе полупроводников с глубокими центрами

Гусев О.К., Шадурская Л.И., Яржембицкая Н.В.
Белорусский национальный технический университет

Структуры с барьерами (гетеропереходами), переходами металл-полупроводник, неоднородно легированные полупроводники относятся к элементной базе современной твердотельной электроники и составляют основу фотоэлектрических приборов информационной техники. Поэтому изучение возможностей управления таким инженерным параметром как высота потенциального барьера с помощью легирования и уровня инжекции представляет актуальную задачу.

С помощью ЭВМ методом итераций проводились численные расчеты неравновесной стационарной функции заполнения дефектов f в неоднородно легированных областях, высоты потенциального барьера ψ , а также времени жизни электронов и дырок τ_n , τ_p в неоднородном полупроводнике в зависимости от уровня возбуждения. Расчеты проводились с использованием неравновесной стационарной статистики рекомбинации в однородных полупроводниках. Параметры дефектов и параметры неоднородно легированных областей варьировались.

Проведенное моделирование показывает, что высота потенциального барьера в полупроводниках неоднородно-легированных глубокими примесями зависит от параметров глубокой примеси (сечения захвата для электронов и дырок, глубины залегания энергетических уровней) и концентрации глубокой примеси. Зависимости времени жизни электронов и дырок τ_n , τ_p от уровня возбуждения определяются как инжекционной перезарядкой дефектов, так и снижением потенциального барьера с ростом уровня инжекции. Наличие потенциального барьера вокруг неоднородно легированной области при низком уровне возбуждения уменьшает неравновесную стационарную функцию заполнения дефектов в неоднородно легированной области. Высотой потенциального барьера можно управлять, подбирая глубокую примесь с соответствующими параметрами и концентрацией, а также изменяя уровень инжекции.

Применение туннельных переходов для контроля примесей и дефектов в полупроводниковых материалах

Сопряков В.И., Ранчинский И.А.

Белорусский национальный технический университет

Контроль примесей и дефектов в сильно легированных полупроводниках классическими методами сталкивается с известными трудностями. Для их разрешения можно использовать туннельные р-п-переходы, вольт-амперная характеристика (ВАХ) которых содержит малые максимумы избыточного тока,

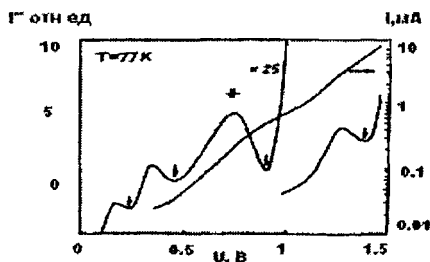


Рисунок 1. Вах и её вторая производная туннельного диода, облученного быстрыми электронами ($E=10 \text{ МэВ}$, $\Phi=6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

связанные с наличием дефектов структуры. Применение техники двойного дифференцирования ВАХ позволяет эти максимумы разрешить (рис.1) и оценить их величину I_{im} путем измерения глубины минимума на кривой второй производной ВАХ $I(U)$.

Был рассчитан избыточный туннельный ток, учитывающий концентрацию дефектов N_i , сечение захвата электронов δ_n , а также флуктуации потенциала вследствие неоднородности легирования ξ

$$I_{im} = AT_n N_i \delta_n E_i' \xi (L + L_A),$$

где $A = 4\pi t_n^* / (2\pi\hbar)^3$, T_n - прозрачность барьера, E_i' - средняя энергия туннелирующих электронов; L , L_B - ширина областей поглощения электронов в р-п-переходе и базе.

Определен энергетический спектр остаточных и радиационных дефектов в сильно легированном GaAs ($E_c-0,22$; $E_c-0,41$; $E_c-0,73$; $E_v+0,32$; $E_v+0,10$ эВ). Концентрация дефектов, определенная настоящим методом, изменяется в исследованных структурах в интервале $10^{15} \dots 10^{17} \text{ см}^{-3}$, что по отношению к мелким примесям составляет $10^{-5} \dots 10^{-3}$.

Конструирование и производство приборов

Исследование влияния режимов шаржирования с ультразвуком боковых поверхностей распиловочных дисков на изменение толщины и массы инструмента

Киселев М.Г., Новиков А.А.

Белорусский национальный технический университет

В алмазообрабатывающей промышленности для распиливания алмазов широко используется инструмент в виде тонких распиловочных дисков. Толщина распиловочного диска является важным эксплуатационным показателем инструмента, определяющим ширину распила, а соответственно, выход годного алмазного сырья. Поэтому важно в процессе изготовления этого инструмента обеспечить минимальное приращение толщины. Поэтому процесс шаржирования боковых поверхностей заготовок, при котором обеспечивается минимальная толщина при удовлетворительной скорости распиливания, нашел широкое распространение.

Так как при шаржировании наряду с внедрением алмазных зерен в поверхность заготовки, происходит ее абразивное изнашивание, то интерес представляет оценка изменения массы заготовки распиловочного диска, позволяющая в определенной степени судить об интенсивности протекания указанных процессов.

При выполнении серии экспериментов по установлению влияния режимов шаржирования на изменение толщины и массы заготовки распиловочного диска, были получены зависимости, на основании которых установлено, что с увеличением статической нагрузки и числа проходов приращение толщины заготовки в результате шаржирования ее боковых сторон зернами алмазных микропорошков снижается. Кроме того, приращение массы заготовок свидетельствует о наличии на ее поверхности шаржированных алмазных зерен. Из анализа этих зависимостей видно, что с повышением статической нагрузки и количества проходов приращение массы диска снижается. Более того, с превышением определенных значений $P_{ст}$ и N масса диска после шаржирования оказывается меньше массы исходной заготовки. Это свидетельствует о том, что процесс абразивного изнашивания поверхности превалирует над процессом ее шаржирования, что полностью согласуется с данными по изменению толщины распиловочного диска

Новые возможности тепловизионных устройств

Новиков А.А., Апитенок С.В.

Белорусский национальный технический университет

Тепловизор - это прибор, который контролировать ситуацию днем и ночью при любых погодных условиях, работая в тепловом, невидимом для человеческого глаза спектральном диапазоне и тем самым позволяет видеть, то, что недоступно приборам ночного видения, обычным телекамерам и телекамерам с инфракрасной подсветкой.

Современные тепловизоры стали передавать цвет, наглядно показывающий температурное поле объекта - от холодного синего до горячего красно-желтого. Чувствительность некоторых моделей повысилась до тысячных долей градуса. Приборы широко используются в медицине, промышленности, астрономии и космических исследованиях, в средствах контроля за запусками ракет, военной технике.

Первоначально все силы были направлены на создание изображения максимально схожим по цвету и геометрии с реальным. Достигнув очень высоких показателей в этом направлении, учёные перешли на следующий этап – создание трёхмерного изображения. Несложно предположить, что следующим этапом для тепловизоров будет способность строить трёхмерное изображение. Построенное изображение с помощью 3D-тепловизора будет значительно удобнее восприниматься человеком.

Усовершенствованные технические средства диагностики и обработки информации раскрывают перед инженерами новые возможности в технике. Использование 3D-тепловизоров представляет интерес не только в области диагностики чего-либо, но и позволит шире применять такую визуализацию. Кроме того, объёмная форма представления информации, безусловно, будет полезным инструментом в руках ученых и преподавателей. Возможно, в будущем 3D-тепловизоры станут составными элементами устройств автоматизации и аналитических систем долгосрочного наблюдения.

Новые возможности биологического микроскопа

Дроздов А.В., Павловец Т.С.

Белорусский национальный технический университет

Модернизация узлов существующих конструкций микроскопов (узел фокусировки, узел револьверной головки и др.), а также внесение дополнительных узлов позволяют увеличивать функциональные возможности микроскопов.

Для расширения возможностей микроскопа Микро-200 с объективом 5^X в его конструкцию был включен дополнительный узел – приспособление для получения и воспроизведения объемного изображения. Принцип работы приспособления основан на автостереоскопическом методе получения объемного изображения. В состав приспособления входят набор линзовых элементов, представляющих собой растровую пластинку (далее - растр), и ПЗС-матрица фотоаппарата или видеокамеры.

Растр разлагает трехмерное изображение объекта на множество двумерных, в которых в закодированном виде содержится информация о продольной координате. Это множество двумерных изображений зафиксировано на ПЗС-матрице. Затем на этапе воспроизведения будет использоваться интегрирующее свойство другого растра, позволяющее не только синтезировать изображение из отдельных двумерных элементов, но и восстановить трехмерность этого изображения. В результате получаем объемное изображение исследуемого предмета, которое детально передается на устройство воспроизведения.

Изображение можно воспроизводить двояко: в отраженном свете (по методу «светлого» и «темного» поля) или при помощи дисплея без тринокулярной насадки.

Добавление в конструкцию микроскопа этого узла позволит улучшить эффективность и удобство работы.

Область применения данного изделия – это исследования в медицине (гематологии, дерматологии, урологии, пульмонологии и т.д.), при диагностических исследованиях в клиниках и больницах, биологии, зоологии, экологии, а также в других научных исследованиях.

Применение информационных критериев для оценки искажений

Зайцева Е. Г., Протас О. И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время цифровая фото- и видеосъемка широко применяются в научных исследованиях. Недостатком этого процесса является возможность возникновения ложной информации за счет наличия дискретизации. Анализ искажений, обусловленных дискретизацией, был произведен при записи на цифровую камеру и воспроизведении на дисплее. Анализ преобразований проведен в спектральном пространстве и схематично представлен на рис. 1.

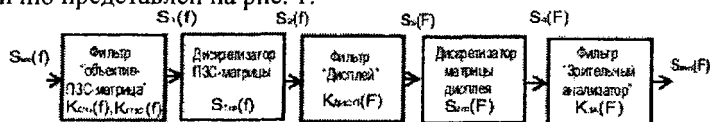


Рис. 1. Преобразования сигнала при записи и воспроизведении.

Преобразования сигнала могут быть сведены в формулу:

$$S_{\text{ввл}}(F) = (((S_{\text{вл}}(\frac{f}{M}) \cdot K_{\text{плк}}(\frac{f}{M}) \cdot K_{\text{об}}(\frac{f}{M})) * S_{\text{мат}}(\frac{f}{M})) \cdot K_{\text{диспл}}(F)) * S_{\text{дис}}(F) \cdot K_{\text{зл}}(F) \quad (1)$$

где * обозначает операцию свертки функции, M – масштаб изменения изображения при переходе от ПЗС-матрицы к дисплею, прочие обозначения представлены на рис. 1.

За критерий оценки системы по искажениям была принята разность между АЧХ сигналов в системах «объект – зрительный анализатор человека» и «объект – цифровая система записи и воспроизведения - зрительный анализатор человека».

Анализ результатов расчетов позволил сделать вывод, что наличие системы записи и воспроизведения приводит к уменьшению амплитуд ряда частотных составляющих сигнала по отношению к непосредственному восприятию информации без системы.

Для количественной оценки качества систем записи и воспроизведения информации используется критерий «информационная плотность». Необходимо провести дополнительные исследования по анализу соотношения субъективной оценки качества с вышеуказанными критериями.

**Методика определения остроты зрения в функции
расстояния аккомодации**

Зайцева Е.Г., Никитин В.В.

Белорусский национальный технический университет

Изначально усилие увидеть является психическим усилием. В состоянии психического напряжения мышца меняет свой тонус, что для глаза имеет отрицательные последствия, несущие за собой изменения в качестве работы зрительного аппарата.

В настоящее время много внимания и усилий направляются на совершенствование диагностики зрения, безошибочное и качественное определение остроты зрения. Как известно различительная способность глаза человека зависит от расстояния аккомодации, с которого он видит определенный объект. Наиболее распространенные методы определения остроты зрения – с помощью тестовых таблиц и проекторов знаков. Но данные методы обладают одним существенным недостатком – определение остроты зрения осуществляется на жестко фиксированном расстоянии от тестовых элементов, что противоречит работе глаза в естественных условиях, где присутствует аккомодация его на предметы.

Из вышесказанного очевидна актуальность определения остроты зрения на разных расстояниях, в результате чего возможно получить информацию о зависимости остроты зрения от расстояния аккомодации для каждого конкретного человека. Это позволит более детально, чем в настоящее время, изучить динамику изменения остроты зрения, выбрать оптимальный режим тренировки зрения индивидуально для каждого человека и при необходимости корректировать его.

Чтобы осуществить эту идею, необходимо разработать такое устройство, которое позволяло бы изменять расстояние между тестовыми элементами и пациентом, т.е. реализовать в этом устройстве специальный перемещающийся (приближающийся и удаляющийся) объект – тест-объект в виде таблицы, миры либо другого оптического типа. Это устройство позволит определять остроту зрения в условиях, приближенных к реальным условиям естественной работы глаза.

Применение САЕ-систем для автоматизированного проектирования ультразвуковых колебательных систем

Степаненко Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Исследована возможность применения систем автоматизированного моделирования (САЕ-систем) в задачах синтеза и анализа элементов ультразвуковых колебательных систем (УЗКС). В качестве тестовой задачи рассматривался синтез ступенчатого концентратора с резонансной частотой $f = 22$ кГц (длина волны 236,4 мм), отношением диаметров $N = 2$ (входной диаметр $D = 40$ мм) и сопряжением ступеней с радиусом $r = 10$ мм. Расчет резонансной длины L концентратора и коэффициента K усиления по амплитуде производился с помощью САЕ-системы CARD (Krell Engineering, США) для расчета пьезоэлектрических устройств и численным методом путем решения интегро-дифференциального уравнения колебаний:

$$\frac{du}{dx} = -k^2 S \left(\xi(0) + \int_0^x \frac{u}{S} dx \right),$$

где $u = S d\xi/dx$, S – площадь поперечного сечения концентратора, ξ – амплитуда колебательных смещений, k – волновое число.

Анализ синтезированного концентратора производился с помощью САЕ-системы ANSYS (SAS IP, Inc., США) для решения мультифизических задач методом конечных элементов.

Расчет с помощью CARD дал следующие значения параметров: $L = 120,8$ мм, $K = 3,820$. Эти значения с достаточной точностью совпадают с полученными численным методом: $L = 120,7$ мм, $K = 3,974$. Расчет с помощью ANSYS дал для синтезированного концентратора значение резонансной частоты $f = 21,3$ кГц, что свидетельствует о достаточно высокой точности синтеза. Расчетный коэффициент усиления составил $K = 3,794$. Таким образом, успешное решение тестовой задачи свидетельствует о возможности эффективного применения САЕ-систем при расчете УЗКС.

Оптимизация технологического процесса шлифования ювелирно-поделочных камней

Луговой В.П., Луговой И.В., Щербина С.

Белорусский национальный технический университет

В области обработки ювелирных камней отсутствуют справочные рекомендации по выбору режимов резания, назначению оптимального технологического процесса обработки. Практическое значение работы заключается в установлении оптимальной последовательности инструментов с заданной зернистостью по критерию минимальной трудоемкости обработки. Техпроцесс должен строиться из условия обеспечения гарантированного съема дефектного слоя поверхности и формирования нового слоя с меньшими значениями R_z и T . В работе были проведены сравнительные эксперименты по определению величины шероховатости поверхности камней, после обработки инструментами с различной зернистостью при различной последовательности чередования обработки яшмы и змеевика.

Сопоставление величины обработанного материала инструментами различной зернистости показали неодинаковую степень съема материалов с различной твердостью. Суммарное время достижения конечной шероховатости зависит от вариантов и последовательности выбора зернистости инструментов. Наиболее оптимальным является такое чередование, при котором обеспечивается начальное формирование размеров заготовки, затем обеспечивается подготовка поверхности под чистовое шлифование поверхности абразивом размером 80-40 мкм, после чего необходима доводка микропорошками размером 14-10 мкм и окончательная полировка поверхности для достижения глянца. Таким образом, оптимальный технологический процесс определяется скоростью удаления поверхностного слоя, образованного на предыдущей операции, и формирования микронеровности нового поверхностного слоя

Проведены также сравнительные исследования по оценке съема твердых и мягких камней, на примере обработки яшмы технической и змеевика.

Выбор инструментов для ультразвукового сверления

Луговой В.П., Луговой В.В.

Белорусский национальный технический университет

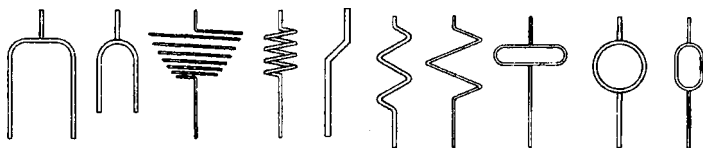
Обработка отверстий малого диаметра размером менее 1 мм в неметаллических хрупких материалах представляет определенные сложности. Такие задачи возникают при обработке ювелирных камней, ферритов, керамики, различных материалов электронной промышленности. Производительность обработки ограничена возможностями применяемых инструментов.

Целью исследований является поиск новых конструкций инструмента для сверления. Были рассмотрены различные конструкции игл для прошивки отверстий, содержащие промежуточный элемент в виде кольца, пружины, U-образной дуги и пр. Собственные частоты инструмента должны соответствовать резонансной частоте акустической системы.

Резонансная частота для пружинного элемента резонансная частота равна $f = 2,145 \cdot 10^7 d/n D^2$, где d , n , D – соответственно диаметр сечения, число витков и диаметр пружины. Резонансная частота для элемента в форме кольца

$$f = 1/2\pi \sqrt{\frac{Eg}{\gamma r^2}} \sqrt{1 + i^2},$$

где $\sqrt{\frac{Eg}{\gamma}}$ – c – скорость звука, равная для стали 5050 м/с; r – радиус кольца, i – число волн по окружности.



Экспериментальные исследования показали, что интенсивность обработки отверстий определяются совмещением действий продольных и изгибных (или крутильных) колебаний рабочего торца инструмента.

**Автоматизированная транспортная система
для медицинских учреждений**

Савченко А.Л., Федина В.А.

Белорусский национальный технический университет

В лечебно-диагностических учреждениях со стационарами имеется необходимость в доставке различных грузов по месту назначения. Больным требуется доставлять в палаты пищу и лекарства, смену постельного белья, больных с нарушением опорно-двигательного аппарата необходимо доставлять на процедуры и диагностику.

В настоящее время все эти функции выполняет младший медицинский персонал с использованием различных самоходных тележек. Такие тележки выпускаются различными предприятиями, в том числе отечественными, и имеют большое количество конструктивных разновидностей.

В то же время на машиностроительных предприятиях, в основном зарубежных, широко используются транспортные системы на основе автоматических тележек, движущихся по заданному маршруту.

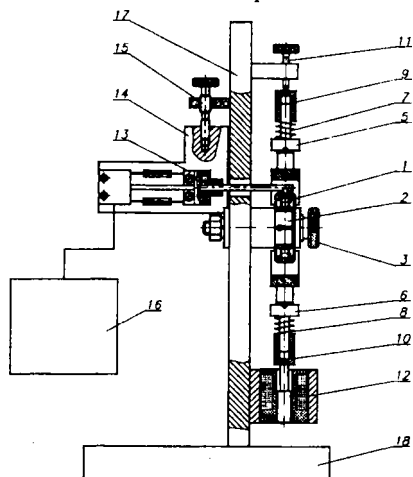
Подобная система предлагается для медицинских учреждений. Основой предлагаемой системы являются автоматические тележки модульной конструкции, состоящие из самоходного основания с электроприводом и системой управления и съемных грузовых элементов различного назначения. В качестве курсовой системы предлагается использовать фотоэлектрические датчики. Курс задается с помощью белой полосы, нанесенной на пол по ходу движения тележки с дополнительными элементами, обозначающими места поворота или развилки маршрута. Варианты маршрута запоминаются в бортовой микропроцессорной системе и задаются пользователем с пульта дистанционного управления. Тот же пульт используется для вызова свободной тележки из специального «помещения-гаража» с позициями для подзарядки аккумуляторов. Дистанционное управление работает на основе радиосвязи. Такой же принцип используется для вызова тележкой грузового лифта для перемещения между этажами.

Метрологическое обеспечение процесса восстановления радиальных шарикоподшипников

Савченко А.Л., Минченя Н.Т.

Белорусский национальный технический университет

Суть процесса восстановления радиальных подшипников методом обкатки с ультразвуком изложена в докладе на 5 МНТК в 2007 г. Основная проблема по сравнению с радиально-упорными подшипниками заключается в том, что в процессе восстановления увеличивается радиальный зазор. Это следует учесть при нанесении на подшипник новой маркировки. Для этого после восстановления необходимо проконтролировать радиальный зазор в подшипнике. Ранее авторами был предложен комплекс на основе индуктивных преобразователей для измерения параметров подшипников качения. Для измерения радиального зазора предлагается дополнить комплекс еще одним узлом, механическая часть которого показана на рисунке 1.



- 1 – контролируемый подшипник; 2 – оправка; 3, 11, 15 – винт;
 4 – призма; 5, 6 – ползун; 7, 8 – пружина; 9, 10 – прижим;
 12 – электромагнит; 13 – датчик индуктивный; 14 – кронштейн;
 16 – блок электронный; 17 – стойка; 18 – основание

Рисунок 1

Установка для предварительной виброударной обработки боковых поверхностей распиловочных дисков

Киселёв М.Г., Корзун П.О.

Белорусский национальный технический университет

Распиловочный диск – это инструмент диаметром 76 мм и толщиной от 0,04 до 0,09 мм, применяемый при обработке алмазов в бриллианты, который изготавливаются из бронзы марки БрОФ 6,5-0,15 [1].

Исходя из предшествующих исследований, авторами было предложено добавить в традиционный технологический маршрут изготовления дисков операцию предварительной обработки, в основе которой лежит процесс ударно-абразивного изнашивания.

Трехмерная модель установки представлена на рисунке 1.

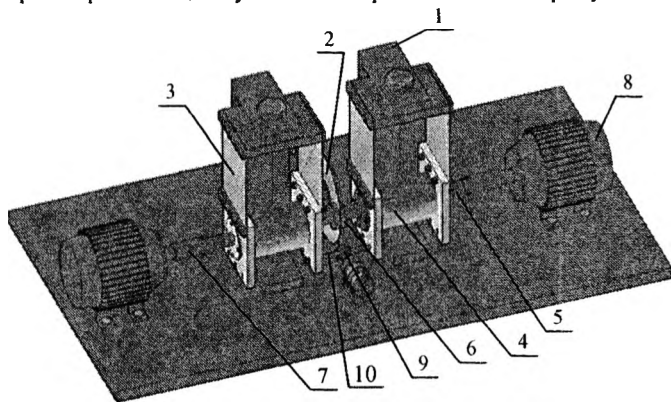


Рисунок 1-Схема установки для виброударной обработки

Она содержит две виброударные системы 1, расположенные симметрично относительно диска 2, выполненные в виде двух подвешенных на плоских пружинах 3 корпусов 4. В них на подшипниках качения смонтированы валы 5, на концах которых установлены деформирующие инструменты 6. Через муфты 7 противоположные концы валов соединялись с выходными валами мотор-редукторов 8. Для сообщения колебаний виброударным системам предусмотрен кулачок 9, к которому примыкают кронштейны 10, между которыми установлена пружина (на рисунке не показана), обеспечивающая силовое замыкание деформирующих инструментов.

Использование ультразвуковых колебаний и термического воздействия на отливки стоматологического назначения для повышения эффективности их предварительной очистки от формовочной смеси

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Корзун П.О.

Белорусский национальный технический университет

Производительность процесса литья изделий стоматологического назначения во многом определяется производительностью операции очистки полученных отливок, которая зависит от остаточной прочности формовочной смеси. Для ее снижения необходимо уменьшить плотность упаковки зерен наполнителя в единице объема. Исходя из этого, предложен оригинальный способ уменьшения остаточной прочности формовочной смеси, включающий этап более эффективной, по сравнению с обычной, пропитки формовочной смеси водой в ультразвуковой ванне, и последующее охлаждение заготовки при температуре $-2...-4^{\circ}\text{C}$, в результате чего вода, проникшая в формовочную смесь расширяется, раздвигая зерна наполнителя и уменьшая прочность связей между ними.

Экспериментальная оценка эффективности применения предложенного способа включала сравнительную оценку остаточной прочности образцов специальной формы из формовочной массы путем их нагружения, а также длительность процесса очистки поверхностей отливок стоматологического назначения при использовании традиционного и предложенного метода их очистки.

В результате получены данные, отражающие изменение прочности на изгиб образцов специальной формы, изменение удельной массы капиллярной и набранной образцами воды, а также изменение массы заготовок при различных режимах обработки формовочной массы.

Полученные результаты позволяют сделать заключение об эффективности применения предложенного способа очистки для снижения до 30% удельной силы излома, что позволяет говорить о снижении остаточной прочности формовочных смесей.

Повышение скорости скольжения шариков при шлифовании соосным кольцевым инструментом

Щетникович К.Г.

Белорусский национальный технический университет

Шлифование шариков из хрупких неметаллических материалов осуществляется инструментом, состоящим из соосно установленных двух приводных колец, фаски на которых образуют кольцевую канавку, и неподвижного или связанного с приводом вращения диска. При взаимодействии шарика с инструментом по трем площадкам контакта на каждой из них имеются точки, в которых скорость проскальзывания близка к нулевому значению, поэтому средняя скорость проскальзывания значительно ниже линейной скорости инструмента.

Применение кольцевого инструмента с установкой неподвижного наружного кольца непосредственно на обрабатываемые шарики по двум базовым поверхностям, образованным кольцевой проточкой прямоугольного профиля, реализует несимметричный четырехточечный контакт с заготовками. При небольших нагрузках на неподвижное кольцо обеспечивается скольжение шарика по площадке контакта с горизонтальной поверхностью кольцевой проточки на нем. Скорость скольжения по сравнению с максимальной скоростью проскальзывания увеличивается в 2,5–3 раза и определяется угловой скоростью абсолютного вращения шарика.

Если обработка заготовок производится при нагрузке на неподвижное кольцо, превышающей осевую нагрузку на внутреннее приводное кольцо, шарик при перемещении по кольцевой дорожке скользит по двум площадкам контакта с инструментом. Скорость скольжения в этом случае значительно возрастает и определяется в основном линейной скоростью приводного кольца. Высокая скорость скольжения достигается при малой угловой скорости собственного вращения обрабатываемых шариков. Шлифование шариков из хрупких неметаллических материалов при низкой скорости их транспортирования в зоне обработки позволяет значительно снизить динамические нагрузки на заготовки и уменьшить вероятность повреждения сферической поверхности.

**Кинематика шариков при доводке дисковым инструментом
с концентрическими кольцами**

Щетникович К.Г.

Белорусский национальный технический университет

Доводка стальных шариков между двумя чугунными дисками в кольцевых канавках происходит в условиях трения качения при дифференциальном проскальзывании относительно рабочих поверхностей инструмента. При использовании сборного инструмента кольца устанавливают в концентрических пазах прижимного диска, и каждое кольцо участвует в образовании двух кольцевых дорожек для размещения шариков. Обрабатываемые шарики соприкасаются с инструментом по четырем площадкам контакта, две из которых создаются кольцевыми проточками прямоугольного профиля, выполняемыми на кольцах или на прижимном диске.

Кинематика шарика зависит от расположения кольцевых проточек. Основная рабочая нагрузка прикладывается к прижимному диску, поэтому при расположении кольцевой проточки на кольце шар будет скользить по горизонтальной поверхности проточки, а на остальных площадках контакта будет наблюдаться качение. При длине дуги контакта равной $1/3$ диаметра шарика скорость скольжения превышает максимальную скорость дифференциального проскальзывания в 2,9 раза.

Если кольцевые проточки выполнены на прижимном диске, то помимо скольжения по горизонтальной поверхности проточки шарик скользит также по площадке контакта, которая в зависимости от соотношения сил сцепления располагается на цилиндрической поверхности проточки или на конической фаске прижимного диска. Мгновенная ось вращения занимает положение между этими площадками контакта, так как скорости скольжения имеют противоположные направления. Скорость скольжения несколько снижается, однако съем припуска возрастает вследствие скольжения шарика по двум площадкам контакта при более высоком значении давления. Зависимость угла наклона мгновенной оси вращения шарика от соотношения нагрузок на прижимной диск и кольца обеспечивает быструю переориентацию шарика при движении по кольцевой дорожке.

**Графоаналитическое представление результатов измерений
при оценке отклонений от прямолинейности
и плоскостности поверхности**

Ковалев Л.Д., Суровой С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим в вычислительном аспекте построение вспомогательной плоскости (прямой) при измерении отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхности.

Процедура вычисления параметров средней плоскости (прямой) не нуждается в подробных комментариях, поскольку при этом используется общеизвестный метод наименьших квадратов. Следует отметить только, что практически всегда целесообразно использовать ЭВМ, поскольку обрабатываются большие массивы данных. Применение ЭВМ разумно даже для построения средней прямой при измерениях отклонений от прямолинейности.

Несколько более сложны вычисления при построении прилегающей плоскости (прямой). Дело в том, что если задача построения средней плоскости (прямой) имеет аналитическое решение, которое можно представить в виде конечных выражений для параметров плоскости (прямой), то для прилегающей, строго говоря, возможно лишь построение вычислительного алгоритма.

Объем вычислений в этом случае значительно больший и зависит от необходимой точности результата. Для численного решения задачи применение ЭВМ становится практически неизбежным.

Отметим возможность графического построения прилегающей плоскости. Метод такого построения приведен в работе Медянцевой Л.Л. Однако оно весьма трудоемко, требует высокой квалификации исполнителя, а из-за громоздкости чревато ошибками построения, в силу чего едва ли может быть рекомендован для широкого применения. Построение же прилегающей прямой, напротив, проще построения средней прямой и легко выполнимо как графическим, так и аналитическим способом.

**Особенности измерений отклонений
от прямолинейности и плоскостности поверхности**

Ковалев Л.Д., Суровой С.Н.

Белорусский национальный технический университет

В стандартах различных стран одинаково определено отклонение от плоскостности (прямолинейности) поверхности – максимальное отклонение поверхности (прямой) от вспомогательной плоскости (прямой). Различие между некоторыми стандартами заключается в способе построения вспомогательной плоскости (прямой). По этому признаку стандарты можно разделить на две группы.

В первой группе в качестве вспомогательной плоскости (прямой) выбрана средняя плоскость (прямая), или параллельная ей, и вычисления связаны с минимум среднего квадрата отклонения от реальной поверхности.

Во второй группе стандартов вспомогательная плоскость (прямая) касается поверхности и минимизируется максимальное отклонение от реальной поверхности. То есть, в первой группе используется квадратический критерий, во второй – линейный.

Как средняя, так и прилегающая плоскость (прямая) определяются однозначно, и в этом смысле ни одна из них не обладает преимуществом.

При построении средней плоскости (прямой) методом наименьших квадратов принимают во внимание все результаты измерений точек поверхности. При этом, как известно, погрешности измерений в отдельных точках усредняются и, следовательно, повышается точность пространственной ориентации вспомогательной плоскости (прямой).

При построении прилегающей плоскости (прямой) вектор его параметров в конечном счете выражают через координаты лишь нескольких точек поверхности (от 3 до 5).

Принимая во внимание погрешности измерения, отметим это как недостаток процесса получения информации, поскольку здесь в большей степени проявляется действие случайной составляющей погрешности измерения.

Оценка качества шаржирования распиловочных дисков

Савицкий С.С.

Белорусский национальный технический университет

Распиловочные диски, предназначенные для механического распиливания кристаллов природного алмаза, изготавливают из оловянисто-фосфористой бронзы Бр ОФ 6,5–0,15 диаметром 76 и толщиной 0,05–0,09 мм. Важной операцией в процессе изготовления такого инструмента является создание на его боковых поверхностях алмазного слоя путем закрепления на них алмазных зерен. Эксплуатационные характеристики инструмента определяются количеством и размером закрепленных зерен, прочностью их закрепления, равномерностью нанесения на поверхность и неравномерностью выступающих режущих кромок.

В процессе проведения сравнительных производственных испытаний оценивали интенсивность распиливания кристаллов алмаза по площади распила ($\text{мм}^2/\text{мин}$), износостойкость распиловочных дисков, определяемую по количеству кристаллов алмаза, распиленных одним диском, качество распиленных полуфабрикатов и выход годной продукции после подшлифовки площадок.

До наклеивания в оправке каждая партия взвешивалась на электронных весах с точностью до 0,001 карата. С помощью секундомера фиксировалось машинное время распиливания каждого кристалла. Определялся суммарный вес распиленных половинок после предварительной очистки от клея и промывки. Полуфабрикаты, подвергнутые подшлифовке площадок, промывались и взвешивались с точностью до 0,001 карата.

Целью испытаний явилось сравнение технико-экономических показателей распиловочных дисков, шаржированных с помощью ультразвука, серийные гомельские диски, серийные распиловочные диски Смоленского и гальванодиски Винницкого заводов «Кристалл».

Результаты испытаний показали, что разработанная технология формирования алмазоносного слоя у распиловочных дисков с применением ультразвука дает возможность значительно повысить их эксплуатационные показатели

**Разработка методики и экспериментального оборудования
для исследования моделей проволочных стентов
в анизотропной эластичной оболочке**

Манько А.С., Чигарев А.В., Минченя В.Т.

Белорусский национальный технический университет

Традиционно стенка сосудов делится на три слоя: внутреннюю (интима), среднюю (медиа) и наружную (адвентиция) оболочки. При этом основную механическую роль играет средняя оболочка. Основная часть средней оболочки в крупных центральных и мелких артериях имеет разное строение. Сложные взаимосвязи между эластическими, коллагеновыми и гладкомышечными волокнами определяют особенности изменений формы и напряжения артериальной стенки и комбинацию этих величин. Очевидно, что при конструировании стента должны учитываться изменение формы сосуда и изменение угла подъема гладкомышечной спирали, который различен у артерий с разными диаметрами.

В данной работе нами осуществлялся анализ взаимодействия модели внутрисосудистого эндопротеза-стента и полимерной оболочки, которая характеризуется геометрическими и механическими параметрами сосудов.

Разработана методика построения стента в виде сложной спиралевидной конструкции, образующей гибкую сетчатую оболочку с изменяемым диаметром. Геометрия средней (эффективной) линии стента представляет собой спираль около которой проволока образует периодическую структуру. В рабочем состоянии средняя линия сохраняет винтовой характер, а периодическая структура увеличивает период. Угол наклона средней линии стента соответствует углу наклона нитей эластина в медиа сосудов.

Экспериментальные исследования на моделях показали, что подбор материала для стента, конструкция стента позволяют создать характер движения жидкости в оболочке, подобный течению в естественных сосудах. Установлено, что стент устойчиво функционирует в трубках при перепадах давления, это говорит о синхронизации его динамики и динамики трубки под действием закачиваемой жидкости.

Оптико-электронные и лазерные приборы и системы

Артюхина Н.К., Володько Н.А.

Белорусский национальный технический университет

В работе рассмотрен объектив из концентрических зеркал с четырьмя отражениями, который представляет практический интерес в связи с хорошими коррекционными возможностями aberrаций. Он отличается простотой конструкции в сочетании с высокими оптическими характеристиками. Предложенный объектив, оптическая схема которого показана на рисунке, состоит из двух компонентов с двумя отражениями от каждого и формирует изображение в бесконечности.

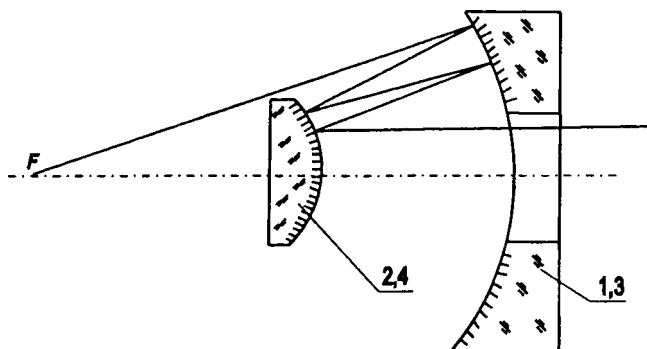


Схема двухзеркального объектива с четырьмя отражениями

Применение только двух сферических зеркал значительно упрощает конструкцию объектива, уменьшает его габариты, и вместе с тем двукратное отражение луча от каждой поверхности обеспечивает более широкие возможности для коррекции aberrаций. Достоинством предложенного объектива также является значительный передний отрезок.

В объективе хорошее качество изображения (aberrации внеосевой точки базового варианта не превышает одной минуты). Aberrации высших порядков исправлены оптимизацией.

Рассчитанный объектив представляет практический интерес и может быть использован в ультрафиолетовой микроскопии.

Исследование напряженного состояния линз

Каролик Е.П., Козерук А.С., Кузнечик В.О.

Белорусский национальный технический университет

Классическая технология изготовления оптических деталей со сферическими поверхностями предусматривает одностороннюю обработку с поочередным креплением заготовок за одну из исполнительных поверхностей с помощью наклеечного вещества в виде смолы. При этом ввиду различных значений температурного коэффициента линейного расширения металла наклеечного приспособления, стекла и смолы происходит упругая деформация заготовок оптических деталей, находящихся в блоке. В результате возникают локальные погрешности на исполнительной поверхности линзы, что снижает разрешающую способность оптического прибора.

Отмеченных недостатков лишена технология одновременной двусторонней обработки линз. При её реализации заготовки закрепляются за боковую нерабочую поверхность. Однако необходимо учитывать, что такое крепление при неправильном его осуществлении также деформирует деталь.

Для анализа напряженного состояния линз при креплении линз за боковую цилиндрическую поверхность использовалась математическая модель однородного упругого изотропного деформирования твердого тела. Сущность рассматриваемого моделирования состоит в аппроксимации исследуемого тела моделью, представляющей собой совокупность элементов с конечным числом степеней свободы. Эти элементы взаимосвязаны только в узловых точках, куда прикладываются фиктивные силы, эквивалентные поверхностным напряжениям, распределенным по границам выбранных элементов.

Используя вышеупомянутую математическую модель, были выполнены расчеты, которые позволили определить влияние величины перемещений в центре линзы от нагрузки.

Проведены экспериментальные исследования зависимости величины локальной погрешности ΔN на исполнительной поверхности линзы от положения плоскости радиально направленных сил ее зажима, что подтвердило правильность теоретических расчетов.

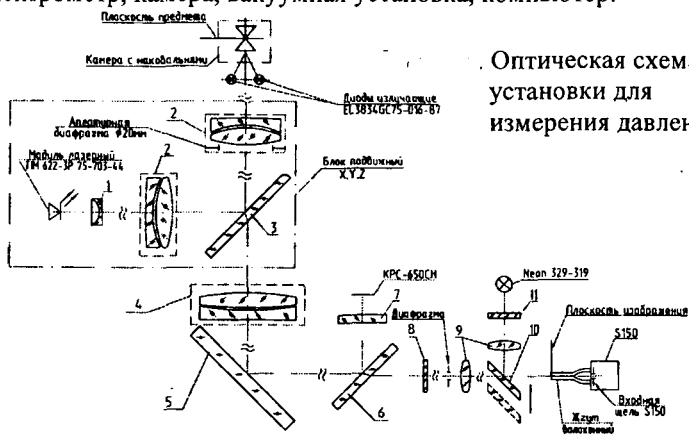
Прибор для измерения давления в образцах методом регистрации смещения длины волны люминесценции

Минайло Л.О., Фёдорцев Р.В., Дудиков В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В связи с развитием современных технологий изучение физических свойств материалов является актуальной задачей. В технологии приборостроения существует ряд операций обработки изделий абразивными материалами, которые бывают на синтетической и натуральной основе. Основным фактором, влияющим на износостойкость и продолжительность работы, является его твердость.

На данный момент одним из перспективных направлений является оптический метод оценки твердости. Сущность метода заключается в определении статического давления по средствам измерений спектров люминесценции. На основе этого метода разработана установка измерения давления. Она состоит из нескольких конструктивных узлов: лазерный модуль, спектрометр, камера, вакуумная установка, компьютер.



Оптическая схема установки для измерения давления

Для работы этого прибора необходимо специальное программное обеспечение «Рубин», по средствам которого осуществляется калибровка спектрометра, режим сканирования спектра люминесценции, вывод его на экран, расчет давления и сохранение полученных результатов.

Численные критерии качества изображения оптико-электронных систем визуализации изображения

Артюхина Н.К., Панько О.И.

Белорусский национальный технический университет

Создание современных оптико-электронных систем (ОЭС) визуализации изображения представляют собой достаточно сложную техническую задачу, и требует проработки большого круга взаимосвязанных вопросов из области оптики, светотехники, инженерной психологии и целого ряда других областей современной науки и техники. Основной задачей при проектировании ОЭС визуализации изображения является построение изображения, регистрируемым и анализируемым зрительным анализатором. Заказчик требует определения качества получаемого изображения соответственно условиям его применения. Разработчики ОЭС должны уметь увязывать соответствующее качество изображения с её техническими характеристиками. Оценка качества изображения является одним из основных требований при создании ОЭС. В настоящее время нет единого подхода к оценке качества изображения.

Сформулированы основные требования к критериям качества изображения, которые должны быть: универсальными, чтобы с их помощью можно было характеризовать системы самых различных назначений (телевизионные, тепловизионные); наглядными и выражаться одним числом; объективными, т.е. независимыми от индивидуальных особенностей и тренированности наблюдателя; пригодными для оценки качества составных (многоступенчатых) систем; зависимыми от условий работы (например, от влияния такие факторов как светорассеивание слоев атмосферы между объектом и оптической системой, смещение объекта или системы во время регистрации изображения); применимы на всех этапах создания ОЭС визуализации изображения.

В результате выполненной работы проведен анализ критериев по определению количественных параметров, используемых при оценке качества изображения с учетом технических характеристик ОЭС, необходимых для промышленной адаптации приборов.

Содержание

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	67
Энергоэффективные технологии	80
Информационные технологии и автоматизация	94
Информационные технологии и управление	133
Разработка месторождений полезных ископаемых	142
Литейное производство чёрных и цветных металлов	151
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов	165
Обработка материалов давлением	186
Материаловедение в машиностроении	207
Теория механизмов и машин	223
Гидропневмоавтоматика	226
Горные машины	236
Двигателестроение	251
Автотракторостроение	270
Техническая эксплуатация автомобилей	283
Инженерная и компьютерная графика	292
Информационно-измерительная техника и технологии	321
Конструирование и производство приборов	338
Оптико-электронные и лазерные приборы и системы	357

Научное издание

НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ

Материалы Шестой международной научно-технической
конференции

В 3 томах

Том 1

Ответственный за выпуск Л.Э. Ляшенко

Подписано в печать 3.11.2008

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл.печ.л. 21,10. Уч.-изд. л. 16,50. Тираж 100. Заказ 1217.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

Проспект Независимости, 65, 220013, Минск.