

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ

**Материалы 16-й Международной
научно-технической конференции
(71-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных работников, докторантов
и аспирантов БНТУ)**

В 4 томах

Том 1

Минск
БНТУ
2018

УДК 001:[37+658+338](063)

ББК 72я431

Н34

Редакционная коллегия:

С. В. Харитончик – д-р техн. наук;

А. М. Маляревич – чл.-кор. НАН Беларуси, д-р физ.-мат. наук;

А. С. Калиниченко – д-р техн. наук

В сборнике представлены материалы 16-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (71-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), тематика которых посвящена актуальным проблемам современной науки.

ISBN 978-985-583-331-5 (Т. 1)

ISBN 978-985-583-330-8

© Белорусский национальный
технический университет, 2018

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика

Влияние фронта испытательного сигнала на результаты контроля обмоток электрических машин

Зеленко В. В., Сизиков С. В.

Белорусский национальный технический университет

Достоверный контроль качества витковой изоляции предусматривает приложение к ней испытательного напряжения, близкого к пробивному для данного типа изоляции. Однако даже распространенный дефект витковой изоляции – воздушный промежуток, образовавшийся за счет отсутствия эмали на проводе или попавшего воздушного пузырька при пропитке, может выдержать напряжение более 1 кВ. Данный дефект разовьется и выявит себя в процессе эксплуатации при циклических электромагнитных и тепловых нагрузках. Создать необходимое испытательное напряжение между витками возможно или за счет наведения ЭДС от электромагнитного индуктора или обеспечив контрольному сигналу необходимые фронты. На распределение напряжения вдоль обмотки, контролируемой на витковое замыкание, большое значение имеет передний фронт испытательного сигнала. Результаты испытаний, приведенные в [1], показали, что снижение длины переднего фронта испытательного сигнала приводит к неравномерному распределению напряжения по обмотке. Наибольшее напряжение ложится на первых витках, что приводит к пробое исправной изоляции. Описанные в методы испытаний прямоугольными импульсами в большинстве случаев приведут к пробое изоляции исправной обмотки при напряжении меньшим, чем испытательное, принятое для данного типа обмотки. Для исключения пробоя исправной изоляции необходимо согласовать спектральный состав испытательного сигнала с частотными характеристиками обмотки, за счет подстройки не только его частоты и скважности, но и фронтов, что позволит не выводя из строя исправную обмотку равномерно распределить межвитковые напряжения вдоль обмотки. В процессе исследования было выявлено что наиболее оптимальным для этого являются радиоимпульсы, у которых передним фронтом можно управлять, изменяя амплитуду и частоту несущего колебания, а согласовывать с частотными характеристиками целесообразно изменяя также частоту следования импульсов.

Технологический разброс параметров обмоток асинхронных электродвигателей как фактор снижения достоверности контроля

Зеленко В. В., Сизиков С. В.

Белорусский национальный технический университет

Обмотки асинхронных двигателей, как отдельно статоров, так и в собранном состоянии, подвергаются контролю в процессе изготовления и ремонта путем измерения их параметров и сравнению с образцовыми или измеренными. Измеряемыми параметрами могут быть активные сопротивления или индуктивности обмоток.

Согласно ТКП 339–2011 активные сопротивления постоянному току различных фаз должны отличаться друг от друга или паспортных данных не более чем на 2 %, что так же относится и к индуктивностям. Данные допуски на отклонение параметров обмоток, погрешности применяемых измерительных приборов могут превышать изменения этих параметров от витковых замыканий. Поэтому метод амперметра и вольтметра, который часто используется производителями и ремонтирующими предприятиями, не дает достоверных результатов и не позволяет выявить единичные замыкания витков, в том числе и из-за того, что сопротивление в месте контакта всегда превышает сопротивление самого витка.

Погрешность метода контроля активных и индуктивных сопротивлений обмоток в общем случае можно определить как полный дифференциал:

$$\Delta A_{\text{погр}} = \frac{dA}{dR_{\Gamma}} \Delta R_{\Gamma} + \frac{dA}{dL_{\Gamma}} \Delta L_{\Gamma} + \frac{dA}{dR_{\text{и}}} \Delta R_{\text{и}} + \frac{dA}{dL_{\text{и}}} \Delta L_{\text{и}},$$

где $\frac{dA}{dR_{\Gamma}} \Delta R_{\Gamma} + \frac{dA}{dL_{\Gamma}} \Delta L_{\Gamma}$ – технологические погрешности,

$\frac{dA}{dR_{\text{и}}} \Delta R_{\text{и}} + \frac{dA}{dL_{\text{и}}} \Delta L_{\text{и}}$ – погрешности измерений.

Влияние технологического разброса параметров, как фактора, не позволяющего определить наличие виткового замыкания, можно найти как его превышение над изменением фиксируемого параметра при витковом замыкании

$$\frac{\Delta A_{\text{вз}}}{\Delta A_{\text{погр}}} < 1$$

Основные средства улучшения формы выходного напряжения автономных инверторов

Мороз Р. Р.

Белорусский национальный технический университет

На современном этапе технического развития одной из актуальных практических задач является разработка преобразователей электрической энергии постоянного тока в электрическую энергию переменного тока (инверторов) со стабилизированными выходными параметрами – частотой и напряжением. Существенным вопросом проблемы повышения качества энергии на выходе преобразовательных устройств являются вопросы, связанные с формированием синусоидального напряжения из дискретных сигналов, т. е. модуляция напряжения.

При оценке формы периодической симметричной относительно оси времени кривой выходного напряжения инвертора обычно пользуются следующими коэффициентами: коэффициентом формы K_f (отношение действующего к среднему по модулю значению); коэффициентом искажений K_n (отношение действующего значения основной гармоники к действующему значению всей кривой); коэффициентом гармоник K_g (отношение действующего значения высших гармоник к действующему значению основной гармоники).

Приведенные коэффициенты, являясь функциями лишь амплитуд гармонических составляющих, не учитывают их места в спектре напряжения и не дают полной характеристики выходного напряжения, так как сигналы самой различной формы могут иметь одни и те же значения K_f , K_n , K_g .

Форму кривой можно характеризовать также КПД преобразования, называемым иногда коэффициентом использования или к. п. д. выделения гармоники θ . Он определяется отношением мощности первой гармоники к мощности на выходе преобразователя во всей полосе частот.

Из всех статических преобразователей электрической энергии инверторы обладают, с точки зрения получения синусоидального напряжения, наибольшим разнообразием применяемых методов модуляции.

Использование только выходных LC-фильтров для получения синусоидального напряжения имеет место крайне редко вследствие присущих им недостатков (низкие массогабаритные и энергетические показатели, ухудшение фильтрации при малых нагрузках и т. п.). Как правило, названные фильтры применяются в сочетании с другими средствами улучшения формы выходного напряжения.

Основные требования к автономным инверторам

Мороз Р. Р.

Белорусский национальный технический университет

Инверторы служат для преобразования электрической энергии постоянного тока, поступающей, например, от аккумуляторной батареи в электрическую энергию переменного тока.

К инверторам предъявляют ряд требований, из которых основными являются:

- 1) стабилизация напряжения на выходе при изменениях напряжения на входе и нагрузки;
- 2) стабилизация частоты на выходе;
- 3) близкая к синусоидальной форма кривой выходного напряжения;
- 4) 120-градусный сдвиг между фазными напряжениями на выходе трёхфазного инвертора;
- 5) возможность параллельной работы группы автономных инверторов.

Кроме того, при разработке инверторов требуется комплексный подход к решению вопросов минимизации веса и габаритов инверторов при жёстких ограничениях по энергетике и чрезвычайно высокими требованиями к надёжности и унификации.

Оговоренные требования стараются обеспечить: схемными методами; применением новой элементной базы и модернизацией традиционных элементов; конструктивными усовершенствованиями; более полным использованием элементной базы.

Однако, как показывает опыт, решение отдельных, даже весьма важных проблем не приводит в итоге к значительным сдвигам в тактико-технических данных инверторов. Поэтому более правильным, хотя и более сложным является комплексный подход к проектированию инверторов, когда каждый конкретный тип аппарата строится на базе как схемных, так и конструктивных и элементных решений и усовершенствований.

Разнообразие решений в выполнении преобразователей напряжения настоятельно требуют решения проблемы оптимизации, которая заключается в определении структуры схемы и параметров элементов по многочисленным критериям, отражающим важнейшие требования к инвертору.

Резонансный контур с обмотками электрических машин

Чучков А. В., Романович Н. М.

Белорусский национальный технический университет

Большая часть промышленной и коммерческой нагрузки является нелинейной, и создаваемые ими искажения в низковольтных распределительных сетях требуют снижения до уровня определённого ГОСТа.

Одним из эффективных средств борьбы с искажениями являются те, которые подавляют высшие гармоники в самом устройстве, генерирующего гармоники, или в устройстве, расположенном рядом с ним. Для реализации этого процесса целесообразней воспользоваться фильтром, состоящим из ёмкостей и индуктивностей самой обмотки электрической машины, которая представляет из себя цепную схему.

Параметры высших гармоник тока зависят от режима работы трансформатора, электрических машин и различного рода преобразователей. Наиболее неблагоприятный режим – режим холостого хода. Не всегда организационными мерами удаётся обеспечить полную загрузку оборудования и удерживать её в номинальном режиме, поэтому искажения тока следует подавить, установив фильтр на клеммах оборудования. Фильтры, ограничивающие распространение высших гармоник тока, должны иметь минимальную проводимость на частотах этих гармоник. Таким свойством обладает последовательный LC-фильтр.

Следует учесть, что источником высших гармоник является источник тока, поэтому процессы, проходящие в фильтре будут иметь свою существенную особенность. Частотные характеристики в последовательном резонансном контуре при питании от источника тока имеет явный минимум на частотах близких к резонансной.

Учитывая низкую добротность пассивных фильтров и требования не влиять на распределение активной мощности, необходимо устанавливать их в местах расположения наиболее мощного оборудования.

Поскольку данный фильтр работает по принципу последовательного LC-контра, резонансная частота которого практически не зависит от сопротивления цепи, величина нагрузочного резистора не искажает характера резонанса. Установка таких *резонансных фильтров* часто экономически целесообразнее, чем использование активных фильтров.

**Технологии распознавания изображений в задачах
тепловизионной диагностики электрооборудования**

¹Суходолов Ю. В., ²Коваленко А. М.

¹Белорусский национальный технический университет

²Военная академия Республики Беларусь

Эффективное решение задач по оценке технического состояния электрооборудования (ЭО) в значительной мере связано с внедрением современных методов инструментального контроля и технической диагностики. Одним из наиболее передовых методов в настоящее время является тепловизионная диагностика (ТД). Преимуществом данного метода является возможность оценки технического состояния объектов непосредственно в процессе эксплуатации под нагрузкой.

Применение ТД основано на том, что наличие практически всех видов дефектов ЭО вызывает изменение температуры неисправных элементов и, как следствие, изменение интенсивности инфракрасного излучения, которое может быть зарегистрировано тепловизионными приборами. При этом термограмма представляет собой цифровое изображение, характеризующее распределение поля температур объекта диагностики, где каждому значению поля температур присваивается определенный дискретный цвет (или его оттенок).

Как известно, любая методика технической диагностики предполагает применение теории распознавания. Для автоматизации ТД целесообразным является применение алгоритмов распознавания, характерных для систем машинного зрения, предполагающих: предварительную обработку изображения (цифровая коррекция, яркостные преобразования), первичное распознавание (частотная, цветовая и фильтрация) и отнесение элемента изображения к определенному классу.

Построение решающих правил и диагностических моделей конкретного ЭО предлагается осуществлять с учетом его конструкции и особенностей работы в условиях развития отказов, проявляющихся в изменении поля температур. При этом достоверность результатов диагностики может подтверждаться расчетами с использованием методик количественной термографии [1].

**Упрощение алгоритмов двумерного дискретного преобразования
Фурье для задач цифровой обработки электрических сигналов**

¹Суходолов Ю. В., ²Шейников А. А.

¹Белорусский национальный технический университет

²Военная академия Республики Беларусь

В настоящее время, в связи с разработкой электронно-оптических устройств сопряжения электрооборудования с ЭВМ, в практику внедряются алгоритмы двумерного ДПФ [1]. Цифровая спектральная обработка двумерных сигналов, требует значительных объемов оперативной памяти для быстрого решения множества арифметических операций. За последние годы практически достигнут предел быстродействия цифровых систем и возникает потребность в оптимизации существующих алгоритмов двумерного ДПФ. В большинстве случаев перед его вычислением выполняют периодическое продолжение двумерного сигнала по обеим координатам. Для получения спектра двумерного сигнала обычно используют алгоритм, реализующий классическое ДПФ одномерного сигнала, полученного путем последовательного суммирования всех строк двумерной матрицы. Однако, рассмотренный алгоритм трудно поддается распараллеливанию и не приспособлен к дальнейшему снижению сложности. С целью распараллеливания по строкам и столбцам разработаны алгоритмы, аналогичные алгоритму Кули-Тьюки для одномерных сигналов [2]. Применение таких алгоритмов более эффективно, так как происходит уменьшение количества операций комплексного умножения и комплексного сложения. Таким образом, существуют ресурсы дальнейшего снижения сложности алгоритмов за счет применения следующих принципов: двумерные сигналы должны рассматриваться как таблицы, столбцы и строки которых можно обрабатывать независимо в параллельных потоках; в рамках одного потока, отдельные столбцы и строки должны обрабатываться с помощью алгоритма БПФ, позволяющего производить вычисления за меньшее количество операций по сравнению с классическим алгоритмом.

Параметры сигналов управления при компенсации нелинейных искажений

Жуковская Т. Е., Лойко А. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Наличие нелинейных потребителей в сети приводит к генерации высших гармонических составляющих, которые отрицательно воздействуют на всю электроэнергетическую систему (ЭЭС), а именно искажают кривые тока и напряжения.

Используется различные способы повышения качества электроэнергии путем компенсации высших гармоник, наиболее эффективным из которых является применение устройств коррекции качества тока и напряжения – активных фильтров.

Активный фильтр осуществляет анализ гармонического состава потребляемого тока и генерирует в распределительную сеть аналогичный состав, но в противофазе. Это приводит к выравниванию гармонических искажений и повышению качества электроэнергии.

Учитывая однозначную зависимость частотных параметров и временных характеристик сигналов, таких как взаимное расположение характерных точек: перехода через ноль напряжения и тока, положения, величины максимума и т. д., целесообразно определять и контролировать спектральный состав искаженного тока по временным параметрам. Точное измерение малых изменений параметров времени электрического сигнала, осуществляется путем формирования в характерных точках периодических последовательностей импульсов и анализ их амплитудно-частотных характеристик.

Контролировать изменения амплитуд и начальных фаз целесообразней по значениям таких параметров, как время задержки между моментами перехода через ноль опорного и анализируемого сигналов, а фазовый сдвиг измеряем между первой гармонической составляющей тока и опорным сигналом.

Спектральные преобразования, позволяют обеспечить достаточную точность определения необходимых параметров формирования сигнала управления, для активной фильтрации гармонического состава тока.

Распределение высших гармоник в электрических устройствах

Ермолинская Л. Э., Тарарай А. О.

Белорусский национальный технический университет

Интенсивное распространение преобразовательной техники требует решения таких важных задач, как повышение качества электроэнергии и уменьшение влияния высших гармоник на работу электрооборудования.

В зависимости от места своего подключения в системе высшие гармоники будут оказывать влияние на другие нагрузки.

Снижение несинусоидальности напряжения обеспечивается или рациональным построением схемы электрической сети предприятия, при которой коэффициент гармоник напряжения будет в допустимых границах, или применением специальных схем нелинейных нагрузок, а также корректирующих устройств.

Анализ действия на потребителей источника высших гармоник предусматривает определение его характера, нагрузки и условия наибольшего затухания высших гармоник и наилучшей передачей, т.е. условиями минимальной мощности и КПД.

Схема замещения может быть представлена источником ЭДС, внутренним активным сопротивлением, соответствующим сопротивлению обмоток трансформатора, электродвигателей и индуктивностью, зависящей от индуктивности обмоток, характеристиками магнитопровода и нагрузки. В режиме холостого хода индуктивность максимальна, т.е. внутреннее сопротивление у источника также максимально, что является свойством источника тока. Кроме того, чем больше номер гармоники, тем больше индуктивное сопротивление, т.е. характеристика более соответствует источнику тока.

Электромагнитная нагрузка трансформатора и механическая нагрузка электрических машин влияет на параметры эквивалентного источника высших гармоник, при уменьшении их увеличивается его внутреннее сопротивление.

В самой системе электроснабжения, когда в производственном процессе участвует много нелинейных потребителей типа трансформаторы, дроссели фильтров, электрические машины образуются сложные структуры обмена электрической энергии на частотах внешних гармоник между устройствами, работающими в режиме холостого хода или с недогрузкой и работающими с номинальной или близкой к этому режиму нагрузкой.

Параллельные фильтры высших гармоник

Клявдо М. А., Мацук А. С.

Белорусский национальный технический университет

Источниками высших гармоник токов являются нелинейные нагрузки, подключенные к распределительной сети. Протекание гармоник токов по сети, имеющей определенное сопротивление, приводит к появлению высших гармоник напряжений и соответственно к искажению формы питающего напряжения.

Вызываемые высшими гармониками тока эффекты обычно разделяются на эффекты электромагнитного и теплового действия.

Необходимость подавления высших гармоник тока определена ГОСТ 32144–2013.

Существует несколько типов фильтров высших гармоник: пассивные, активные и гибридные фильтры. Наиболее дешевые пассивные фильтры используются для подавления гармоник тока с целью предотвращения проникновения в систему, если нелинейная нагрузка вызывает существенные гармонические искажения. Эти фильтры эффективны, когда они установлены рядом с нелинейной нагрузкой.

Используемый для подавления высших гармоник тока параллельный фильтр имеет ту особенность, что в нём будут накладываться резонансные процессы высших гармоник от источников напряжения и источников тока. Источником высших гармоник напряжения является сеть, а источником высших гармоник тока являются нелинейные электромагнитные устройства, трансформаторы, асинхронные электродвигатели, работающие с мощностью ниже номинальной. В параллельном фильтре преобладающими будут резонансные процессы от высших гармоник тока, что становится очевидным при сравнении резонансных характеристик.

Частотные характеристики реактивных и активных сопротивлений не зависят от характера источника, а вот резонансные кривые имеют отличительные особенности.

Параллельные фильтры являются эффективным устройством для подавления высших гармоник тока, однако при определенных условиях могут вызвать перенапряжения, которые можно избежать задавая необходимую добротность в параллельном фильтре.

Применение уравнений состояния для расчета зависимых начальных условий

Горошко В. И.

Белорусский национальный технический университет

Для расчета динамических режимов в электрических цепях, автоматических системах, энергетических сетях широкое распространение получил метод переменных состояния. Этот метод предполагает построение системы дифференциальных уравнений первого порядка (нормальная форма), в которой переменные охватывают все энергоопределяющие величины системы. Для электрических цепей такими величинами являются все независимые индуктивные токи и напряжения емкостей:

$$\mathbf{x}'(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} \cdot \mathbf{v}(t), \quad (1)$$

где $\mathbf{x}(t)$ – вектор-столбец переменных состояния, размерностью $n \times 1$;

$\mathbf{v}(t)$ – вектор-столбец источников; \mathbf{A} , \mathbf{B} – матрицы.

Если нас интересуют не все переменные состояния, а требуется рассчитать только одну (выходную) переменную, то систему (1) можно свести к одному дифференциальному уравнению высокого порядка относительно требуемой переменной:

$$\det(p\mathbf{1} - \mathbf{A})\mathbf{X}(p) = (p\mathbf{1} - \mathbf{A})_{\text{пр}} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{V}(p). \quad (2)$$

где $(p\mathbf{1} - \mathbf{A})_{\text{пр}}$ – присоединенная матрица, $\mathbf{1}$ – единичная матрица.

Система (2) является совокупностью независимых дифференциальных уравнений высокого порядка n . Остается не тривиальная проблема поиска всех начальных условий $x_i(0)$, $x_i^{(1)}(0)$, $x_i^{(2)}(0)$, ..., $x_i^{(n-1)}(0)$ для переменной $x_i(t)$. Покажем, что существует регулярное решение этой проблемы.

Система (1) требует знания только независимых начальных значений, т.е. значений $\mathbf{x}(0)$. Эти значения нужно рассчитать или измерить. Подставив значения $\mathbf{x}(0)$ в систему (1) при $t = 0$, получим начальные значения первых производных:

$$\mathbf{x}'(0) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(0) + \mathbf{B} \cdot \mathbf{v}(0). \quad (3)$$

Дифференцируя (1) и подставляя в полученное уравнение при $t = 0$ величины $\mathbf{x}'(0)$, получим

$$\mathbf{x}''(0) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}'(0) + \mathbf{B} \cdot \mathbf{v}'(0).$$

Повторяем процедуру вплоть до порядка $n - 1$.

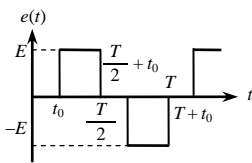
Таким образом, разработан рекуррентный алгоритм расчета всех начальных условий для ОДУ n -го порядка.

Разложение периодического сигнала в бесконечный тригонометрический ряд без использования аппарата рядов Фурье

Горошко В. И.

Белорусский национальный технический университет

Для разложения периодического сигнала в ряд Фурье существует альтернативная методика [1], не использующая расчет коэффициентов ряда Фурье. Разумеется, в силу теоремы единственности, этот ряд будет рядом Фурье. Методика использует одно из интегральных преобразований, например, преобразование Лапласа. В качестве примера возьмем периодическую последовательность с периодом T широтно-модулированных двухполярных импульсов (рисунок). Найдем изображение опорного сигнала $e_0(t)$, $t_0 \in [0, T]$:



$$E_0(p) = \int_{t_0}^{T/2} E e^{-pt} dt - \int_{T/2+t_0}^T E e^{-pt} dt =$$

$$= \frac{E}{p} \left(1 - e^{-pT/2} \right) \left(e^{-pt_0} - e^{-pT/2} \right).$$

Поскольку необходимый сигнал $e(t)$ формируется бесконечным повторением $e_0(t)$ с запаздыванием на время T , то получить изображение $E(p)$ полного сигнала можно вводя оператор транспортного запаздывания e^{-pT} . Тогда изображение $E(p)$ примет вид: $E(p) = E_0(p) / (1 - e^{-pT})$.

Находящийся в знаменателе функции $E(p)$ оператор $(1 - e^{-pT})$, имеет бесконечное число нулей, которым в функции $e(t)$ соответствует бесконечный ряд гармоник, т. е. ряд Фурье. Приводим изображение $E(p)$ к виду, удобному для анализа: $E(p) = E \left(e^{-pt_0} - e^{-pT/2} \right) / p \left(1 + e^{-pT/2} \right)$.

Функция $E(p)$ имеет полюсы $p = 0, p_k = \pm j\omega(2k + 1)$, $k = 0, 1, \dots$; $\omega = 2\pi/T$.

Обращая изображение $E(p)$, получим оригинал:

$$e(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cos \left[(2k+1) \frac{t_0}{T} \right] \sin \left[\omega(t - t/2)(2k+1) \right].$$

Расчет по вышеприведенной формуле показывает, что при $t_0/T = 0,134$ амплитуды третьей и пятой гармоник (12,9 % по отношению к E) существенно ниже амплитуды первой гармоники (115 %).

Расчет положения провода с сосредоточенными нагрузками

Бладыко Ю. В., Абраменко М. В.

Белорусский национальный технический университет

В расчете статики гибких проводов распределительных устройств сосредоточенные нагрузки от распорок, шлейфов, отпаек и других элементов заменяются распределенной по пролету. Сосредоточенные нагрузки нельзя заменять распределенными простым делением суммарных нагрузок на длину пролета, так как это может привести к большой погрешности [1].

При n сосредоточенных силах суммарным весом P , равномерно распределенных вдоль пролета, максимальная стрела провеса

$$f_0(n) = \frac{q \cdot l^2 \cdot K_f(n)}{8 \cdot H},$$

$$\text{где } K_f(n) = 1 + 4\delta + K_p \left(1 + \frac{1}{n}\right); \quad \delta = \left(\frac{q_a}{q} - 1\right) \left(\frac{l_a}{l}\right)^2;$$

l – длина пролета;

l_r – длина натяжной гирлянды изоляторов;

q – погонный вес провода;

q_r – погонный вес гирлянды изоляторов;

$K_p = P / Q$ – коэффициент сосредоточенных сил;

$Q = ql$ – вес провода в пролете без натяжных гирлянд изоляторов и без учета провиса.

Относительная погрешность от замены сосредоточенных сил равномерно распределенной нагрузкой по длине пролета

$$\delta_f = \frac{f_0(\infty) - f_0(n)}{f_0(n)} = - \frac{1}{1 + n \cdot \left(1 + \frac{1 + 4\delta}{K_p}\right)}.$$

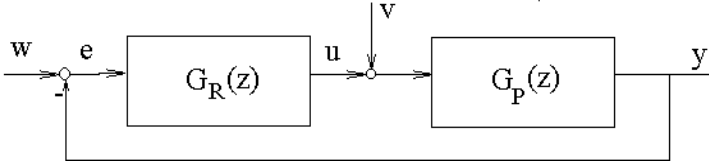
Выражение позволяет оценить погрешность при любом числе сосредоточенных сил n и коэффициентах δ и K_p .

Рекуррентный метод расчета процессов автоматического регулирования

Ежов В. Д.

Белорусский национальный технический университет

При моделировании типичной одноконтурной системы автоматического регулирования имеем нижеприведенные звенья и сигналы.



Z-передаточная функция объекта, например, второго порядка получена из $G(s)$ непрерывной передаточной функции путем обратного преобразования Лапласа и прямого Z-преобразования.

$$G_P(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}.$$

Параметры a_i и b_i определяются постоянными времени объекта и принятым тактом квантования T_0 .

Дискретный регулятор, соответствующий непрерывному ПИД – регулятору или аperiodическому, имеет следующую передаточную функцию.

$$G_R(z) = \frac{u(z)}{e(z)} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - p_1 z^{-1} - p_2 z^{-2}}.$$

Для ПИД – регулирования параметры q_i и p_i определяются настройками усиления K , интегрирования S_I , дифференцирования S_D и принятым тактом квантования T_0 . Для аperiodического регулятора параметры определяются параметрами объекта.

Из передаточных функций получены разностные уравнения:

$$y(k) = b_1 \cdot u(k-1) + b_2 \cdot u(k-2) - a_1 \cdot y(k-1) - a_2 \cdot y(k-2),$$

$$e(k) = w(k) - y(k),$$

$$u(k) = q_0 \cdot e(k) + q_1 \cdot e(k-1) + q_2 \cdot e(k-2) - p_1 \cdot u(k-1) - p_2 \cdot u(k-2).$$

По уравнениям для изменяющегося сигнала задания $w(k)$ рекуррентно рассчитываются выход объекта $y(k)$, ошибка регулирования $e(k)$ и сигнал управления $u(k)$. В реальных системах выход объекта $y(k)$ измеряется, а для объектов с изменяющимися параметрами T_1 , T_2 предусмотрены рекуррентные алгоритмы идентификации параметров объекта и автоподстройки регулятора.

Расчет статического положения провода с гирляндами изоляторов

Бладыко Ю. В., Абраменко М. В.

Белорусский национальный технический университет

В механическом расчете гибких проводов распределительных устройств и воздушных линий сосредоточенные нагрузки от натяжных гирлянд изоляторов, шлейфов, отпаяк и других элементов заменяются распределенной по пролету. Из сделанного в [1] заключения следует, что сосредоточенные нагрузки нельзя заменять распределенными простым делением суммарных нагрузок на длину пролета, так как это может привести к совершенно неверным результатам. Наибольшая погрешность будет при одной сосредоточенной силе, приложенной в середине пролета.

Максимальная стрела провеса в этом случае

$$f_0 = \frac{ql^2}{8H}(1 + 4\delta + 2K_p) = \frac{ql^2}{8H} K_f,$$

где $\delta = \left(\frac{q_{\bar{a}}}{q} - 1\right) \left(\frac{l_{\bar{a}}}{l}\right)^2$ – коэффициент, учитывающий наличие натяжных

гирлянд изоляторов;

l – длина пролета;

$l_{\bar{r}}$ – длина натяжной гирлянды изоляторов;

q – погонный вес провода;

$q_{\bar{r}}$ – погонный вес гирлянды изоляторов;

P – вес сосредоточенной нагрузки;

$K_p = P / Q$ – коэффициент сосредоточенных сил;

$Q = ql$ – вес провода в пролете без натяжных гирлянд изоляторов и без учета провиса;

K_f – коэффициент увеличения стрелы провеса, обусловленный наличием сосредоточенных сил и гирлянд изоляторов:

$$K_f = 1 + 4\delta + 2K_p.$$

При большом числе относительно малых сосредоточенных сил, приложенных по всей длине пролета, их можно заменять распределенными.

Устройство и комплексная методика диагностического контроля узлов специальной техники

Аникеев Ю. Ю., Губаревич Д. П.
Военная академия Республики Беларусь

В ходе развития специальной техники неизбежно происходит ее усложнение, а на фоне процесса «старения» и близости к критической черте осуществляется ее совершенствование при обеспечении высокой надежности и работоспособности специальной техники. Одной из наиболее существенных задач при обеспечении работоспособности специальной техники является предотвращение отказов. Она успешно может решаться с помощью проведения необходимого технического обслуживания и ремонта с использованием методов и способов диагностического контроля технического состояния. По результатам анализа методов и способов диагностического контроля был сделан вывод, что наиболее рациональным и эффективным является метод диагностического контроля с использованием контрольно-диагностического комплекса «ВЕКТОР-М15М», который используется для восстановления работоспособности специальной аппаратуры, для которого разработано уникальное устройство сопряжения, и достигнуты следующие результаты: обеспечена возможность соединения диагностируемых специальных узлов с контрольно-проверочной аппаратурой; разработана программа проверки работоспособности плат и поиска неисправных элементов с использованием контрольно-диагностического комплекса, было обращено внимание на диагностику, поиск и вывод всей информации о диагностируемом устройстве. Всю полученную информацию программа группирует и выводит информацию на экран монитора. Контакты платы расписаны в программе в соответствии с их расположением на самой плате так, чтобы значительно облегчить поиск неисправности; разработана методика поэтапного поиска неисправностей, контроля выполнения операций, протекающих во время работы тестируемой платы, вывод на монитор компьютера информации о неисправности конкретного элемента блока, а так же сведений о вышедшем из строя кодовом проводе и его прокладке в самом блоке. Тем самым обеспечивая высокую эффективность ремонта радиотехнических систем, в результате чего, значительно возрастают возможности ремонтных подразделений.

Таким образом, разработанное оборудование и методика позволяют уменьшить время поиска неисправностей с высокой долей вероятности, уменьшить сроки проведения ремонта радиотехнических систем, и повысить возможности ремонтных органов.

Способы оценки мощности первичного источника системы автономного электроснабжения в зависимости от нагрузки

Каркоцкий Д. В., Чумаков С. А.
Военная академия Республики Беларусь

В докладе рассматриваются возможные варианты расчета мощности первичного источника при разработке новой или модернизации существующей системы автономного электроснабжения (САЭС) в зависимости от наличия исходных данных.

Анализ опыта построения систем электроснабжения в большой энергетике показал, что существует несколько подходов расчета величины и характера электропотребления, но они в представленном виде не могут быть применены при проектировании САЭС.

Существующий подход определения мощности первичного источника автономного объекта (АО) заключается в суммировании максимальной мощности всех потребителей электроэнергии (ПЭЭ). При таком подходе не учитывается характер токопотребления, искажение формы кривой питающего напряжения и изменение потребляемой мощности с течением времени за период функционирования АО (график нагрузки). Перечисленные недостатки приводят к увеличению массы САЭС, сокращению длительности автономной работы и срока службы отдельных элементов САЭС тем самым увеличиваются стоимость оборудования и эксплуатационные расходы.

Для устранения перечисленных недостатков в докладе представлен единый унифицированный подход, позволяющий рассчитать мощность первичного источника САЭС при разработке нового или модернизации существующего АО в зависимости от нагрузки, а также построить ожидаемый график нагрузки. Сущность подхода заключается в определении полной мощности всех ПЭЭ АО в зависимости от наличия исходных данных, характеризующих электропотребление.

Рассмотренные способы оценки мощности первичного источника САЭС в зависимости от нагрузки позволят определить ограничения для решения задачи структурно-параметрического синтеза и алгоритма определения мощности первичного источника при разработке новой или модернизации существующей САЭС.

**Функция сложности в вероятности безотказной работы системы
электрообеспечения специальной техники**

Колчин Е. В., Аникеев Ю. Ю.

Военная академия Республики Беларусь

Вероятность безотказной работы P сложной системы, имеющей в своем составе n подсистем, равна: $P = \prod_{i=1}^n P_i$, где P_i – вероятность безотказной

работы i -й подсистемы, зависящая от ее надежности. Задача декомпозиции вероятности безотказной работы состоит в перераспределении заданного значения P между подсистемами, то есть в определении P_i . Очевидно, при равной вероятности безотказной работы подсистем имеем $P_i = \sqrt[n]{P}$.

В реальных системах данное условие не выполняется. Поэтому задачу декомпозиции P решают, используя коэффициенты сложности подсистем (для i -й подсистемы a_i ; m_i/M , где m_i и M – количество элементов i -й подсистемы и системы в целом). Поскольку надежность и вероятность безотказной работы зависят от сложности подсистемы, то $P_i = f_i(a_i) \sqrt[n]{P}$, где $f_i(a_i)$ – функция сложности i -й подсистемы. Определим порядок расчета P_i при $n = 2$. В этом случае $P_1 = f_1(a_1) \sqrt{P}$; $P_2 = f_2(a_2) \sqrt{P}$ и $f_2(a_2) = \frac{1}{f_1(a_1)}$,

$a_2 = 1 - a_1$. Таким образом, для расчета P_1 и P_2 достаточно знать лишь одну (например, $f_1(a_1)$) функцию сложности. Ее аналитическое выражение можно найти методом квадратичной интерполяции по трем узловым точкам, в которых значения P_1 и P_2 известны. Такими точками являются края и центр диапазона a_1 . Коэффициенты A , B и C получим $A = 1/\sqrt{P}$; $B = 4 - \sqrt{P} - 3/\sqrt{P}$; $C = 2\sqrt{P} + \frac{2}{\sqrt{P}} - 4$.

Таким образом, при $n = 2$ процедура декомпозиции осуществляется в три этапа: определяются коэффициенты сложности подсистем a_1 и a_2 ; рассчитываются функции сложности $f_1(a_1)$ и $f_2(a_2)$; определяются вероятности работы подсистем P_1 и P_2 . При $n > 2$ процедура декомпозиции состоит в поочередном расчете функций сложности $f_i(a_i)$, а затем требуемых значений вероятности безотказной работы подсистем специальной техники.

**Применение системы компьютерной алгебры MathCAD
при проведении курсового проектирования по дисциплинам
электротехнического профиля**

Комаров С. К., Каледа А. Е.
Военная академия Республики Беларусь

При выполнении курсовой работы по дисциплинам электротехнического профиля обучаемые руководствуются методическими указаниями. Для облегчения выполнения расчётов и развития навыков работы в современных системах автоматизированного проектирования им предоставляется возможность работы в среде Mathcad. Обучаемые чаще выполняют расчёты в MS Excel или с помощью программируемых калькуляторов. Написание программ в MS Excel доступно далеко не всем обучающимся. Основным недостатком в этом случае является несоответствие используемых идентификаторов учебникам и методическим указаниям, что затрудняет проверку и ставит под сомнение понимание обучаемым выполненной работы. Наиболее удобным для проведения расчётов в курсовом проектировании по электротехническим дисциплинам представляется Mathcad. Это общедоступная среда для выполнения на персональном компьютере разнообразных математических и технических расчётов, снабжённая простым в освоении и в работе графическим интерфейсом. Mathcad предоставляет пользователю инструменты для работы с формулами, числами, графиками и текстами. В среде Mathcad доступны более сотни операторов и логических функций, предназначенных для численного и символьного решения математических задач различной сложности. При написании формул в Mathcad есть все возможности сохранять обозначения, принятые в ранее изданных учебниках и методических пособиях. При условии перевода перечисленных выше методических разработок в среду Mathcad обеспечивается значительное сокращение затрат времени на выполнение вычислительной работы, исключаются арифметические ошибки и появляется возможность вариантных расчётов. Применение системы компьютерной алгебры Mathcad при выполнении курсовой работы по дисциплинам электротехнического профиля позволяет значительно сократить затраты времени на выполнение расчётов, предоставить дополнительное время обучаемым для осмысления алгоритма расчёта и обоснованно принимать проектные решения. Преподаватель получает возможность быстро проверить расчёты, выполненные обучаемым и ставить индивидуальные задачи.

Методика структурно-параметрического синтеза комбинированного генератора возвратно-поступательного типа для энергоустановки на базе свободнопоршневого двигателя

Менжинский А. Б., Малашин А. Н.
Военная академия Республики Беларусь

Интерес к исследованию энергоустановок на базе свободнопоршневых двигателей (СПД) обусловлен рядом преимуществ в сравнении с классическими двигателями внутреннего сгорания с кривошипно-шатунным механизмом (ДВС с КШМ): относительной простотой конструкции, на 40 % меньшим количеством элементов, отсутствием вращающихся частей, что в 2,5–3 раза уменьшает габаритную мощность, удельную массу СПД.

Однако в настоящее время отсутствует научно-обоснованная методика синтеза генератора для энергоустановок на базе свободнопоршневого двигателя. С целью решения этой задачи была разработана методика структурно-параметрического синтеза комбинированного генератора возвратно-поступательного типа для энергоустановки на базе свободнопоршневого двигателя, основанная на использовании удельной массы комбинированного генератора в качестве целевой функции, это позволяет синтезировать электрическую машину возвратно-поступательного типа с заданным КПД и минимальной удельной массой.

Блок-схема алгоритма методики структурно-параметрического синтеза комбинированного генератора возвратно-поступательного типа для энергоустановки на базе СПД представлена на рисунке.



Блок-схема алгоритма методики структурно-параметрического синтеза

Математическая модель многофазного магнитоэлектрического генератора с дробными зубцовыми обмотками

Пантелеев С. В., Малашин А. Н.
Военная академия Республики Беларусь

Разработана математическая модель синхронной электрической машины с постоянными магнитами и дробной зубцовой обмоткой (СМПМ ДЗО) непосредственно в фазных координатах, учитывающая распределение магнитного поля в активной зоне машины с учетом насыщения магнитной цепи, двухсторонней зубчатости воздушного зазора электрической машины (ЭМ) и распределения многофазной дробной зубцовой обмотки статора. В систему уравнений модели входят выражения для расчета ЭДС в фазах

$$e_1 = -\frac{d\psi_1}{dt} = -\frac{d\psi_1}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \Theta w_e \Phi_{\varphi_{mv}} (1 + 2 \cos y_e) p \frac{d\alpha}{dt} \sum_{v=1}^4 [\sin(v\alpha p + \varphi_v)];$$

$$e_n = -\frac{d\psi_n}{dt} = \Theta w_e \Phi_{\varphi_{mv}} (1 + 2 \cos y_e) p \frac{d\alpha}{dt} \sum_{v=1}^4 \left[\sin(v\alpha p + \varphi_v - \frac{2(n-1)\pi}{9}) \right], \quad (1)$$

уравнения электрического равновесия фаз

$$R_1 i_1 = -R_1 i_1 + e_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + \sum_{n=2}^9 M_{1n} \frac{di_n}{dt}, \quad (2)$$

выражение для мощности ЭМ $P = \sum_{n=1}^m i_n e_n$, (3)

уравнение вращения ротора ЭМ с заданной нагрузкой

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = M - M_c. \quad (4)$$

В результате разработки математической модели ЭМ установлено: токосопряжение фазы обмотки с постоянными магнитами изменяется по пилообразному закону; ЭДС фазы изменяется по трапециевидальному закону, а амплитуда 3-й гармоники для рассчитанного примера конструкции электрической машины составляет 17,8 % от амплитуды первой гармоники; фазы не связаны индуктивной связью и являются независимыми; собственная индуктивность фазы имеет только постоянную составляющую. На основании данной модели возможна разработка систем управления полупроводниковыми преобразователями с целью формирования задающих воздействий на электромеханическую часть модуля.

**Обеспечения качества электроэнергии в автономных
электроэнергетических системах на основе нейросетевых технологий**

Первенёнок Р. Е., Сицко А. Л.
Военная академия Республики Беларусь

Обеспечение качества электроэнергии в системах электроснабжения (СЭС) на сегодняшний день является актуальным направлением, об этом говорят повышенные требования к качеству электроэнергии, вступившие в силу с новым ГОСТ 32144–2013. В большей степени это касается автономных электроэнергетических систем. Эксплуатация их показывает, что задача поддержания установленного уровня напряжения и частоты на шинах главных распределительных щитов в различных режимах работы, а также коэффициентов несимметрии нагрузок решается в современных автономных энергетических системах (АЭЭС) без особых проблем. Однако этого нельзя сказать о таком показателе качества, как коэффициент нелинейных искажений напряжения, который показывает, насколько фактическая форма напряжения отличается от синусоидальной.

В состав оборудования АЭЭС входят различного рода нелинейные электромагнитные нагрузки. При сравнимых мощностях СЭС переменного тока и импульсной (нелинейной) нагрузки неизбежно искажается форма кривой напряжения. Данные искажения оказывают отрицательное влияние на оборудование АЭЭС, которое выражается в сокращении службы изоляции электрических машин и аппаратов электрооборудования, в нарушении работы специальной вычислительной техники, в повышении вероятности возникновения резонансных явлений в СЭС и др.

Наиболее удачным техническим решением для компенсации гармонического искажения и коррекции коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения являются активные фильтры (АФ).

Существует ряд алгоритмов управления активными фильтрами, но в условиях, когда не удается разработать точную линейную математическую модель, наиболее эффективным является управление, использующее законы нечеткой логики. Это позволяет обеспечить эффективную компенсацию и снижение нелинейной нагрузки при изменении параметров.

Нечеткий контроллер является перспективным решением при управлении АФ и имеет ряд преимуществ перед другими контроллерами, так как не требует точной математической модели, есть возможность работы с неточными вводами, повышает быстродействие и устойчивость работы АФ.

Использование метода двух точек для построения амплитудно-частотных характеристик электрических цепей первого порядка

Степанов А. А., Каледа А. Е.

Военная академия Республики Беларусь

Задача анализа физических процессов, проходящих в электрических цепях, в некоторых случаях вызывает затруднение у обучаемых. С другой стороны освоение физического анализа позволяет построить качественные графики $K(\omega)$ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) электрических цепей первого порядка.

Реактивными элементами в цепях первого порядка являются емкость или индуктивность. Удобно представить сопротивление емкости и индуктивности основе анализа известных формул для реактивных сопротивлений $X_C = 1/\omega C$ и $X_L = \omega L$ [1]. При значении частоты $\omega = 0$ индуктивность будет представлять из себя провод (короткое замыкание), а емкость – разрыв. При значении частоты $\omega = \infty$ индуктивность будет представлять из себя разрыв, а емкость – провод (короткое замыкание).

Исходя из описанных свойств реактивных элементов можно построить график АЧХ по схеме цепи. Для этого необходимо нарисовать электрическую цепь для частот $\omega = 0$ и $\omega = \infty$. Подать на вход напряжение 1 вольт и рассчитать выходное напряжение. Далее по формуле $K = U_{\text{вых}}/1\text{В}$ вывести выражение для значения АЧХ $K(\omega = 0)$ и $K(\omega = \infty)$. Общее выражение для комплексной передаточной функции будет иметь вид:

$$K(j\omega) = \frac{K(0) + j\omega\tau_0 K(\infty)}{1 + j\omega\tau_0}$$

На основании вышеизложенного предлагается следующая методика построения АЧХ электрических цепей первого порядка на основе физического анализа схемы цепи.

1. Нарисовать схему для частоты $\omega = 0$.
2. Определить выходное напряжение цепи $U_{\text{вых}}$.
3. Определить значение АЧХ $K(\omega = 0) = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$.
4. Нарисовать схему для частоты $\omega = \infty$.
5. Определить выходное напряжение цепи $U_{\text{вых}}$.
6. Определить значение АЧХ $K(\omega = \infty) = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$.
7. Построить амплитудно-частотную характеристику $K(\omega)$.
8. На графике АЧХ показать полосу пропускания и граничные частоты.

Компьютерное проектирование некоторых практических схем в среде PROTEUS

Матвеев И. П.

Белорусский национальный технический университет

Для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus v8. В данной работе была спроектирована практическая схема управления водонагревательной системой (рисунок), предназначенная для регулирования воды в нагревателе. Когда температура воздуха возрастет, схема снизит температуру нагревателя. Операционный усилитель используется в схеме в качестве компаратора. Внешний термистор RV2 и резисторы R3 и R4 питают опорным напряжением инвертирующий вход операционного усилителя. Этот термистор RV2 размещается снаружи.

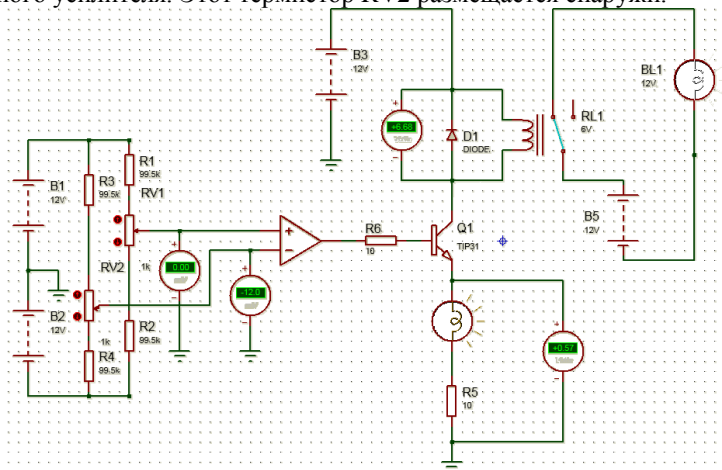


Схема управления водонагревательной системой

Термистор RV1 и вспомогательные резисторы R3 и R4 питают неинвертирующий вход операционного усилителя. Термистор RV1 размещается внутри нагревателя. Выходной сигнал операционного усилителя управляет транзистором Q1, работающим в ключевом режиме.

Когда логический сигнал на выходе операционного усилителя принимает высокий уровень, транзистор Q1 открывается, подавая напряжение на реле RL1. Контакты реле подключаются таким образом, чтобы при срабатывании реле нагреватель отключался от сети питания. В схеме такое отключение визуализируется с помощью лампы BL1.

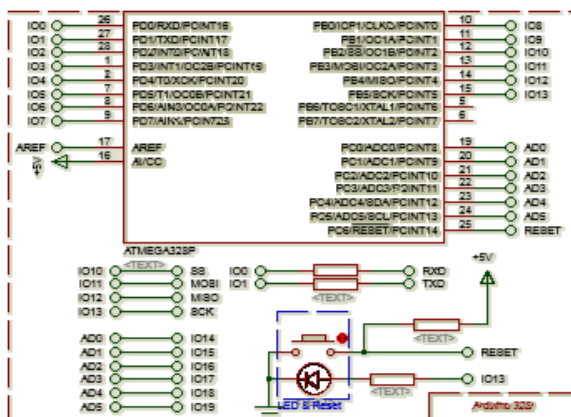
Матвеев И. П.

Белорусский национальный технический университет

Для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus v8, с помощью которой можно создать и проверить работу спроектированной электрической схемы с микроконтроллером.

Сначала создается проект в Proteus. В данном примере приводится проект схемы для управления двигателями постоянного тока. Особенностью данной схемы является использование электронного конструктора Arduino, который представляет аппаратную вычислительную платформу универсального назначения.

Плата Ардуино (рисунок) является простым микроконтроллером AVR (в данном случае ATmega 328P), который был прошит бутлоадером. Базируется конструктор на своей аппаратной части, которая представляет собой плату ввода-вывода. Для программирования платы используются языки, которые основаны на C/C++.



Плата Ардуино

Для создания проекта необходимо собрать виртуальную электронную схему, выбрав необходимые элементы, и разместить их на выделенном пространстве. Далее проверяется работа собранной схемы в соответствии с разработанной программой.

Размагничивающее устройство ферромагнитных изделий на современных тиристорных оптронах

Михальцевич Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Устройство может применяться в приборах неразрушающего контроля (ПНК) для определения механических свойств ферромагнитных веществ. Большинство известных установок содержат блок намагничивания изделия в одном или в разных направлениях, блок размагничивания (БР), участвующий в одном или нескольких этапах размагничивания, блок измерения остаточной намагниченности, по величине которой определяют качество термообработки ферромагнитных изделий. В конце электромагнитного контроля на ферромагнитном изделии остается магнитный след ОН, который необходимо убрать, путем размагничивания изделия.

Данное устройство обеспечивает три цикла размагничивания (ЦР). Для обеспечения первого цикла размагничивания в замкнутой цепи соединены: источник переменного напряжения, включенный первым выводом к двум параллельным цепям, каждая из которых состоит из последовательно соединенных тиристорного ключа и конденсатора, ключи в которых подключены к общей точке – один анодом, а другой катодом, и первую катушку размагничивания (КР), включенную между общей точкой соединения конденсаторов и вторым выводом источника переменного напряжения.

Особенностью работы блока управления, является то, что он не содержит специального блока – нуль-орган, имеющихся во многих других РУ, необходимого для получения симметричного размагничивающего тока. Это стало возможным благодаря применению в блоке управления тиристорными ключами специальных драйверов-оптронов на микросхемах МОС3063-М.

Микросхема производится в шестивыводном корпусе. Она имеет гальваническую развязку входа и выхода в 7500 В. Её максимальный импульсный выходной ток 1 А, а постоянный 60 мА. Самое главное, что она имеет внутренний встроенный нуль-орган, служащий для управления внутренней маломощной оптопарой: светодиод – симметричной тиристор. Она используется для управления более мощным тиристором.

Применение этих микросхем упрощает работу блока управления.

Способы получения синусоидального сигнала для питания асинхронного двигателя при пропадании напряжения в сети

Михальцевич Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Асинхронные двигатели (АД) применяются в различных станках, насосах и различных передвижных устройствах. В частном секторе АД применяются в газовых котлах для отопления в холодное время года и обеспечения горячей водой, проживающих в доме. При различных ситуациях, связанных с аварийными и ремонтными работами электричество на некоторое время может пропасть. Чтобы вода в трубах отопления не замерзла, и трубы не лопнули при этом, АД насоса котла в таких случаях необходимо запитать от резервного источника питания, работающего от аккумуляторов. Чаще всего применяются автомобильные аккумуляторы на 12 В и 24 В. Чем больше общая емкость одного или нескольких аккумуляторов, тем дольше проработает насос в автономном режиме. Сделать преобразователь, повышающий напряжение с модифицированной синусоидой на выходе довольно просто, но АД насоса не работает при такой форме сигнала. Он сильно гудит, греется и не крутится. Форма тока, поступающая на обмотки АД должна быть синусоидальной.

С появлением на рынке электронных изделий мощных высоковольтных, и с большим током в режиме насыщения, транзисторов в продаже для питания газовых и твердотопливных котлов, циркулярных насосов и другого оборудования появились специальные источники бесперебойного питания с синусоидальным напряжением на выходе, например, инвертор «Энергия ПН-750». В нем, в начале, низкое постоянное напряжение, поступающее с аккумулятора, преобразуется в высокое постоянное сглаженное фильтрами напряжение, а затем к нему подключается трехфазный транзисторный блок ключей, управляемый от специального трехфазного генератора с широтно-импульсной модуляцией на частоте выше 20 кГц. Это нужно для того, чтобы этих частот не было слышно. Высокочастотные модулирующие сигналы не пропускают индуктивные фильтры, стоящие на выходе инвертора.

Для тех, кому дорого купить готовый инвертор, работающий по выше-сказанному принципу, можно посоветовать купить дешевый инвертор с модифицированной синусоидой и купить готовый резонансный фильтр, настроенный на частоту 50 Гц. Такой резонансный фильтр, включенный между таким инвертором и АД, значительно улучшает форму выходного напряжения и АД начинает нормально работать. Вес и размеры всего устройства, зависят от мощности АД.

Влияние способов раскладки одножильных кабелей на параметры линий электропередачи напряжением до 1 кВ

Радкевич В. Н., Сталович В. В.

Белорусский национальный технический университет

В электрических сетях напряжением до 1 кВ электроэнергетических систем, промышленных предприятий и других объектов при технико-экономическом обосновании применяются одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, которые могут иметь токопроводящие жилы из алюминия или меди сечением до 1000 мм². Их длительные допустимые токи достигают порядка 1450 А при прокладке в воздухе и 1000 А – в земле. Поэтому использование одножильных кабелей в системах электроснабжения для питания удаленного обособленного объекта в ряде случаев позволяет отказаться от применения трансформаторной подстанции напряжением 10(6)/0,4(0,69)кВ. Такие кабели обеспечивают высокую пропускную способность линии электропередачи.

Для выполнения электрических расчетов необходимо знать численные значения допустимых длительных токов, а также активных и индуктивных сопротивлений, которые зависят от способа раскладки кабелей при сооружении линии электропередачи. В инструкции по эксплуатации силовых кабельных линий (РД 34.20.508) рекомендуется прокладка одножильных кабелей в одной плоскости. Для такой раскладки в технической литературе отсутствуют длительные допустимые токи. В ГОСТ 31996–2012 имеется лишь общая информация по допустимым токам одножильных кабелей при прокладке их по вершинам равностороннего треугольника вплотную. Точные данные по активным и индуктивным сопротивлениям одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением до 1 кВ отсутствуют вообще. В связи с этим при проектировании электрических сетей используются данные кабелей с другими видами изоляции, что приводит к неточностям в расчетах электрических сетей. Такой подход не приводит к существенным ошибкам в оценке активных сопротивлений кабельных линий. Индуктивные сопротивления кабелей зависят от конструктивных особенностей кабелей и их расположения при прокладке относительно друг друга. Значения индуктивности и индуктивного сопротивления, рассчитанные по формулам, приводимым в разных литературных источниках, существенно отличаются.

Производителям кабельной продукции в технической информации следует указывать основные характеристики одножильных кабелей с учетом их раскладки при сооружении кабельных линий, что будет способствовать повышению точности расчетов электрических сетей.

Причины несимметричных режимов работы линий наружного освещения

Козловская В. Б., Калечиц В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Несимметричная работа осветительных линий наружного освещения может быть вызвана:

- 1) неполнофазным режимом работы (переходом от вечернего к ночному режиму);
- 2) различным количеством и мощностью светильников, подключенных к каждой фазе;
- 3) различными напряжениями в фазах в пункте питания.

Переход от вечернего к ночному режиму с целью экономии электроэнергии, который реализуется отключением одной или двух фаз, широко используется и регламентируется ТКП 45-2.04-153–2009.

Неполнофазный ночной режим работы характеризуется увеличением величины тока в нулевом проводнике, что приводит к большему (по сравнению с вечерним режимом) уменьшению напряжения на зажимах светильников осветительной линии.

При отключении части светильников появляется значительная неравномерность освещенности. Чтобы этого избежать, применяют другие способы экономии электроэнергии, среди которых применение в пунктах питания регуляторов напряжения; задействование в светильниках двухступенчатых ЭМПРА.

Различное количество светильников в фазах может быть вызвано неравномерным распределением светильников в линии, а также выходом из строя части светильников, ламп.

Питание сетей наружного освещения осуществляется от трансформаторных подстанций, основную долю нагрузки которых составляют силовые электроприемники. Силовая нагрузка оказывает различное негативное влияние на качество электроэнергии.

Напряжение в пункте питания (начале осветительных линий) зависит от напряжения в фазах трансформатора.

Силовая нагрузка может приводить к увеличению как отрицательных, так и положительных отклонений напряжения в пункте питания.

Работа светильников на напряжении выше номинального значительно сокращает срок службы светильников. Если напряжение на зажимах светильников составляет менее 90% от номинального, то в этом случае зажигание газоразрядных ламп высокого давления может не происходить.

Особенности автоматизированных систем управления наружным освещением

Калечиц В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизированные системы управления наружным освещением выполняют ряд функций:

– обеспечение включения и отключения осветительных линий в соответствии с годовым графиком (автоматически, дистанционно, локально вручную);

– выявление повреждений в элементах осветительной сети, несанкционированного доступа в пункты питания (минимизация времени и средств при обслуживании осветительных сетей);

– контролирование параметров, характеризующих режим работы осветительной линии (ток, напряжение, мощность и др.), а также параметров качества электроэнергии;

– сбор и хранение информации о состоянии осветительных линий, пунктов питания;

– обеспечение учета расхода электроэнергии;

– корректирование режимов работы линий с целью уменьшения расхода электроэнергии, оптимизация режимов работы (на основе собранной информации).

В зависимости от реализации осветительных линий (задействованных источников света, удаленности пунктов питания от диспетчерского пункта) связь между отдельными частями системы может быть построена на основе прямых абонируемых у городской телефонной сети проводов (или специально прокладываемых проводов), GSM, радиоканала, Ethernet, PLC и др.

Управление наружным освещением может осуществляться не только на уровне пункта питания, но и индивидуально каждым светильником.

Индивидуальное управление можно реализовать в линиях со светильниками с газоразрядными лампами и электронной пускорегулирующей аппаратурой, а также светодиодными источниками света, предусматривающими такую возможность.

Корректируя режим работы осветительной линии в пункте питания (или индивидуально управляя каждым светильником), можно снизить расход электроэнергии, обеспечить заявленный производителем срок службы осветительного электрооборудования.

**Электромагнитная совместимость технических средств в узлах
нагрузки систем электроснабжения**

Колосова И. В.

Белорусский национальный технический университет

Технические средства (электротехнические, электронные, радиоэлектронные) при работе создают в большей или меньшей степени различные электромагнитные помехи (ЭП). Происходит загрязнение окружающей среды этими помехами. В результате воздействия помех возникают различные нарушения в работе оборудования, приводящие к выходу его из строя, авариям и сбоям. Это породило такую проблему, как электромагнитная совместимость (ЭМС). ЭМС – способность технического средства (ТС) функционировать удовлетворительно в окружающей электромагнитной обстановке, не создавая не допустимых ЭП средствам связи и другим ТС в этой обстановке. Для обеспечения ЭМС ТС необходимо регламентировать как уровень излучений, так и уровень помехоустойчивости. Условно все помехи можно разделить на два класса: естественного и искусственного происхождения. Помехи искусственного происхождения возникают в процессе человеческой деятельности, а естественного не связаны с ней. Помехи искусственного происхождения, в свою очередь, делятся на непреднамеренные и организованные. Непреднамеренные помехи возникают в процессе использования человеком различного рода устройств, генерация помех которыми является естественным следствием их функционирования. Организованные помехи создаются искусственно. Основными источниками мощных ЭП являются: грозовые разряды, радиоэлектронные средства (мощные радиопередающие средства и радиолокационные станции), высоковольтные линии передачи, контактная сеть железных дорог, а также высоковольтные установки для научных исследований и технологических целей. Применение в технологических процессах систем контроля, управления и сигнализации на базе современных электронных и микропроцессорных устройств обуславливает жесткие требования для обеспечения ЭМС на объектах. Практическое решение проблем ЭМС упрощенно можно свести к двум моментам: знанию электромагнитной обстановки и помехоустойчивости оборудования и в приведении их в соответствие друг другу. Большое значение имеют экранирующие свойства зданий и сооружений, длины и расположение кабелей, взаимное расположение оборудования и правильно выполненные системы заземления и выравнивания потенциалов. На данный момент все еще не составлен полный и четкий список параметров, которые влияют на изменение ЭМС.

**Оперативные методы повышения надежности и точности
измерительной информации в электроэнергетических системах**

Анищенко В. А., Писарук Т. В.

Белорусский национальный технический университет

Достоверность измерения переменных, характеризующих состояние энергетического оборудования, во многом определяет надежность эксплуатации энергетических систем. Для контроля достоверности информации могут быть использованы синтаксические и семантические методы. При синтаксическом контроле результаты измерений рассматриваются как последовательности символов, связанных между собой конструктивными правилами в рамках формализованной системы, а результаты измерений диагностируются с помощью цифровых кодов. Однако синтаксический подход не учитывает технологическую сущность измеряемых данных и не позволяет обнаруживать все возможные недостоверные переменные. Семантический контроль основан на использовании технологического смысла измеряемых данных, их непротиворечивости и согласованности, а также на априорной информации о вероятностных характеристиках переменных. Это повышает вероятность обнаружения грубых погрешностей измерений.

Необходимым условием контроля достоверности является информационная избыточность об измеряемых переменных. В зависимости от вида избыточности различают контроль по предельным значениям переменных, их первым приращениям, на основе уравнений взаимосвязей между переменными.

Разрешающую способность этих методов можно повысить путем оптимального сужения диапазона достоверных значений на основе теории статистических решений по критерию минимума средней цены распознавания недостоверных измерений.

Максимум вероятности обнаружения недостоверных измерений достигается многопризнаковым контролем, основанным на совместной обработке результатов контроля всеми однопризнаковыми методами. Обнаруженные недостоверные показания приборов автоматически замещаются их наиболее вероятными значениями, что обеспечивает непрерывное функционирование системы сбора и обработки информации.

Реализация методов семантического контроля в автоматизированных системах управления на электрических станциях, понизительных электрических подстанциях, на промышленных предприятиях позволит повысить эксплуатационную надежность энергосистемы в целом.

Проектная и эксплуатационная надёжность релейно-контактных систем

Анищенко В. А., Бакун Т. А.

Белорусский национальный технический университет

Надёжность релейно-контактных систем можно разделить на проектную и эксплуатационную. Проектная надёжность характеризует три возможных состояния системы при подаче управляющего сигнала: безотказную работу, отказы типа «обрыв» и «короткое замыкание». Эксплуатационная надёжность дополнительно учитывает два противоположных типа самопроизвольных (ложных) срабатываний системы при отсутствии управляющего сигнала в результате воздействия внешних факторов. Ими могут быть электромагнитные помехи, неудовлетворительное качество монтажа, вибрация и другие неблагоприятные условия эксплуатации. Структурное резервирование существенно повышает надёжность систем. Расчёт показателей надёжности производился исходя из биномиального разложения Ньютона:

$$\prod_{i=1}^n (p_i + q_{io} + q_{is} + r_{io} + r_{is}) = 1,$$

где p_i – вероятность безотказной работы i -того элемента; q_{oi} – вероятность отказа типа «обрыв цепи»; q_{si} – вероятность отказа типа «короткое замыкание»; r_{oi} – вероятность самопроизвольного размыкания контактов; r_{si} – вероятность самопроизвольного замыкания контактов; n – число элементов в системе.

На основе расчетов показателей надёжности систем с последовательным, параллельным, последовательно-параллельным, параллельно-последовательным соединением элементов, а также мажоритарных систем «2 из 3» и «3 из 5» построены шкалы предпочтений систем по критериям максимума вероятности безотказной работы и минимумам вероятностей отказов и самопроизвольных срабатываний. Выбор критериев должен производиться исходя из той функции, которую выполняет релейно-контактная система в конкретном устройстве электроавтоматики. Шкалы предпочтений используются для выбора оптимальной системы при ограничениях на количество используемых элементов. Самопроизвольные срабатывания снижают вероятность безотказной работы, но не влияют на выбор оптимальной системы. Результаты проведённого исследования могут найти практическое применение при разработке высоконадёжных устройств электроавтоматики.

УДК 624.97

Об одной конструкции ветряной турбины для малых скоростей ветра

Горноста́й А. В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из проблем разработчиков ветрогенераторов является низкая эффективность работы ветряных турбин при малых скоростях ветра. Для решения данной проблемы датская компания Archimedes предложила оригинальную конструкцию более похожую на водяное колесо, чем на традиционную ветряную турбину (рисунок).



Внешний вид турбины Liam F1
компании Archimedes

Лопасты турбины имеют форму винта Архимеда. Примечательно, что винты Архимеда часто используются в конструкциях гидросистем с низким напором. При этом они имеют кривую эффективности, плоскую в широком диапазоне скоростей потока.

Это намного улучшает характеристики турбины, ротор которой начинает вращаться даже тогда, когда ветер дует на него под углом 60 градусов. Из-за конической формы турбина автоматически разворачивает себя в оптимальном направлении относительно ветра. Точно так же, как флюгер. И, поскольку турбина оказывает минимальное сопротивление, она практически бесшумна.

Вращение турбины начинается при скорости ветра порядка 2.1 м/с. Ее максимальная выходная мощность достигает 1.5 кВт, когда ветер дует со скоростью чуть большей 5 м/с.

Archimedes – не первый разработчик ветряных турбин, пошедший по пути использования принципа водяного колеса. Компания Wind Sail Resceptor из Невады конструирует похожие на детские вертушки турбины, физика работы которых гораздо ближе к гидро-, чем к аэродинамике.

О номинальных мощностях силовых распределительных Трансформаторов

Радкевич В. Н., Сталович В. В.

Белорусский национальный технический университет

Выбор силового распределительного трансформатора связан с применением шкалой стандартных номинальных мощностей $S_{\text{ном}}$. Исследования показали (А. А. Федоров, В. В. Каменева), что шкала номинальных мощностей силовых трансформаторов должна иметь шаг $\kappa_{\text{ш}}$, равный коэффициенту допустимой перегрузки трансформаторов. Тогда в трансформатор не будет заложена излишняя масса металла, а его мощность будет эффективно использоваться в нормальном и послеаварийном режимах.

Стандартная шкала номинальных мощностей, составленная с коэффициентом шкалы $\kappa_{\text{ш}} \approx 1,6$, приведена в ГОСТ 9680–77, действующем в Республике Беларусь. Данный стандарт распространяется на трехфазные и однофазные силовые трансформаторы и автотрансформаторы мощностью от 0,01 кВ·А и выше, включая трансформаторы, предназначенные для экспорта, и устанавливает для них ряд номинальных мощностей.

До введения ГОСТ 9680–77 в СССР применялся ГОСТ 401–41 с коэффициентом шкалы $\kappa_{\text{ш}} \approx 1,35$. Шкала номинальных мощностей в соответствии с этим стандартом обеспечивала лучшее использование трансформаторов в нормальном режиме при коэффициенте загрузки 0,65–0,7, уменьшение потерь электроэнергии, а также надежное электроснабжение потребителей при внезапном отключении одного трансформатора с коэффициентом перегрузки 1,35–1,4.

В странах Евросоюза применяется более гибкая шкала номинальных мощностей распределительных трансформаторов. При номинальной мощности $S_{\text{ном}} \leq 250$ кВ·А коэффициент шкалы $\kappa_{\text{ш}} = 1,5$ –1,6, а при $S_{\text{ном}} > 250$ кВ·А $\kappa_{\text{ш}} = 1,25$ –1,28.

Следует отметить, что при $\kappa_{\text{ш}} \approx 1,6$ номинальная мощность трансформаторов не используется примерно на 20–30 % при допустимой их перегрузке на 30–40 %. Таким образом, установленная ГОСТ 9680–77 шкала значений $S_{\text{ном}}$ не способствует эффективному применению трансформаторной мощности. Трансформаторы, имеющие $S_{\text{ном}} = 1250$ кВ·А, используются в системах электроснабжения разных объектов в России. Применяются они и в Беларуси. Однако это противоречит действующей в нашей стране нормативно-технической документации. Для повышения энергоэффективности силовых распределительных трансформаторов в нормативных документах целесообразно было бы разрешить использование трансформаторов мощностью 315, 500, 800, 1250 и 2000 кВ·А.

**Компенсация составляющих нулевой последовательности
в трансформаторе «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»**

Збродыга В. М., Зеленкевич А. И.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

При работе этого трансформатора на несимметричную нагрузку составляющие нулевой последовательности фазных токов первичной обмотки и создаваемые ими МДС равны нулю.

Токи нулевой последовательности вторичной обмотки создают равные между собой МДС половин обмоток a_1, b_1, c_1 [1] и равные между собой МДС четвертей $a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$. Результирующие МДС нулевой последовательности в стержнях фаз «А», «В», «С» будут равны:

$$f_{A0} = 0 + i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{b0} \frac{W_2}{4} - i_{c0} \frac{W_2}{4} = i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{4} - i_{a0} \frac{W_2}{4} = 0;$$

$$f_{B0} = 0 + i_{b0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{4} - i_{c0} \frac{W_2}{4} = i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{4} - i_{a0} \frac{W_2}{4} = 0;$$

$$f_{C0} = 0 + i_{c0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{4} - i_{b0} \frac{W_2}{4} = i_{a0} \frac{W_2}{2} - i_{a0} \frac{W_2}{4} - i_{a0} \frac{W_2}{4} = 0,$$

где i_{a0}, i_{b0}, i_{c0} – составляющие нулевой последовательности вторичных фазных токов, А;

W_2 – количество витков в одной фазе вторичной обмотки, шт.

Вторичная обмотка самостоятельно уравнивает свои намагничивающие силы нулевой последовательности, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода.

Магнитные потоки нулевой последовательности в стержнях магнитопровода и ЭДС создаваемые ими в обмотках равны нулю. Трансформатор не будет генерировать напряжения нулевой последовательности в питающую сеть, а напряжения нулевой последовательности вторичной обмотки будут вызваны только падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз.

Основные направления повышения эффективности энергоиспользования предприятий

Ярошевич Т. М.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время, эффективное использование электрической энергии или эффективность энергосберегающих мероприятий для промышленности, сельского хозяйства, на транспорте, коммунально – бытовых предприятиях является актуальной проблемой. Проблема заключается в ограниченности собственными топливно – энергетическими ресурсами, и в результате наша страна импортирует примерно 80 % всех энергоресурсов.

Основными источниками электроснабжения большинства предприятий являются сети районных энергетических систем. При наличии на объекте «отбросного» топлива (газы, опилки, отходы сельского хозяйства и т. п.); при повышенном интересе к нетрадиционным источникам энергии (энергии солнца, ветра и т. п.); при специальных требованиях к бесперебойности питания; при большом теплотреблении или наличие собственных котельных установок, целесообразно сооружение собственного источника питания: мини – ТЭЦ, солнечной электростанции, ветряной электростанции и т. п., электрические сети которых будут параллельно связаны с ближайшими районными или другими электрическими сетями.

Внедрение и дальнейшее развитие товарно-денежных отношений нашей страны с другими странами привело, что существующие промышленные предприятия являются очень энергоемкими, так как у нас в стране отдавался приоритет не повышению эффективности использования энергии на производстве, а наращиванию мощностей в энергосистеме.

Наиболее важной и сложной проблемой на предприятиях стало износ трансформаторного оборудования и выхода коммутационной аппаратуры, старение и повреждение кабельных и воздушных линий и т. п. Поэтому, на предприятиях кроме использования энергосберегающих техники и технологий и применение возобновляемых и невозобновляемых источников энергии, может потребоваться одновременное изменение конструкций зданий, сооружений и технологических установок, применение комплексных аграрно-промышленных модулей и т. д.

Повышение на предприятии энергоэффективности может быть связано со значительными капитальными затратами, что потребует технико-экономического обоснования. При этом учет экологического эффекта обязателен.

**Анализ работы систем управления электрическим освещением
промышленных предприятий**

Козловская В. Б.

Белорусский национальный технический университет

Расход электроэнергии на освещение на промышленном предприятии может быть существенно снижен за счет оптимальной работы осветительных установок. Необходимо наиболее полно и точно учитывать освещенность от дневного света, присутствие людей в помещении. Современные системы управления освещением (АСУО) сочетают в себе значительные возможности экономии электроэнергии с максимальным удобством для пользователей. Они строятся по иерархическому принципу, и представляет собой трёхуровневую структуру: нижний уровень (группы светильников, локальная автоматика в виде датчиков для определения уровня освещённости; возможность регулирования светового потока светильников; определение присутствия человека; коммутации системы освещения в автономном режиме); средний уровень (коммутационное оборудование; счётчик электроэнергии; контроллерное оборудование); верхний уровень (система визуализации данных).

Наиболее оснащенные системы управления освещением позволяют получать максимально полную информацию о работе осветительных установок, а также осуществлять регулирование работы световых приборов с учетом точных данных об уровне естественной освещенности в помещении, присутствии там людей и т. п., телекоммуникационный контроль состояния сетей и световых приборов, управлять режимами горения светильников, дистанционно управлять освещением отдельных участков объекта по заранее заданному графику, а также вести учет электропотребления на освещение и предоставлять полную наглядную информацию потребителю для анализа эффективности потребления электроэнергии.

В зависимости от доли электропотребления на нужды освещения в общем электропотреблении промышленным предприятием следует рассматривать необходимость объема вложения средств в организацию АСУО, чтобы получать экономический эффект от применения данной системы. Нет сомнений в необходимости внедрения подобной системы, однако, состав технических средств для достижения желаемого результата может отличаться.

Надежность и экономичность энергосберегающих мероприятий

Ярошевич Т. М.

Белорусский национальный технический университет

К основным направлениям энергосберегающих мероприятий на предприятии можно отнести модернизацию подстанций, электрооборудования, электрических сетей и т. п., применение энергосберегающих технологий и техники и возобновляемых и невозобновляемых источников энергии, изменение конструкции зданий, сооружений и т. д.

Рассчитать надежность вновь вводимых аппаратов, электрооборудования, элементов электрических сетей и т. п., рассчитать сроки службы для нормальной эксплуатации системы и т. д., необходимо применять количественные характеристики надежности, полученные методами теории вероятности и математической статистики:

1) Вероятность безотказной работы $P(t)$ – это вероятность того, что в заданном интервале времени t при определенных режимах и условиях эксплуатации не произойдет ни одного отказа.

2) Вероятность отказа $Q(t)$ – это вероятность того, что в заданном интервале времени t произойдет хотя бы один отказ.

3) Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – представляет собой условную плотность вероятности возникновения отказа для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

4) Средняя наработка до отказа (TO) – среднее время работы элемента от периода пуска в эксплуатацию до отказа.

В случае если не рассчитать надежность вводимых мероприятий, может возникнуть экологический риск и привести к экономическому ущербу.

При внедрении энергосберегающих мероприятий кроме расчета показателей надежности оценивается экономическая эффективность этих мероприятий, критерием которых является сопоставление инвестиционных затрат с достигаемым экономическим эффектом.

Выбор оптимального варианта, производится с использованием критерия, который называется чистым дисконтированным доходом (ЧДД) – прибыль, полученная за весь срок реализации энергосберегающего мероприятия и дисконтирования к году вложения инвестиций, как превышение результатов над затратами.

Если ЧДД > 0 , то прибыль инвестиций выше нормы дисконтирования, мероприятие является эффективным и может рассматриваться вопрос о его принятии. Если ЧДД < 0 , то мероприятие не эффективно, является убыточным.

К вопросу об энергоэффективности.

Константинова С. В., Павлович Е. В.

Белорусский национальный технический университет

Энергоэффективность – эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве. Достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды.

Энергосберегающие мероприятия позволят значительно сократить затраты на энергоносители и тем самым положительно влиять на технико-экономические показатели работы предприятия или производства. Это сразу наблюдается в увеличении рентабельности и улучшении конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет снижения себестоимости выпускаемой продукции или услуг.

Работы по энергосбережению ведутся по следующим основным направлениям: увеличение эффективности производственного процесса и экономия энергоресурсов.

На сегодняшний день используется ряд эффективных способов для экономии электроэнергии. Основные из них:

- модернизация оборудования;
- применение энергосберегающих технологий;
- уменьшение потерь электроэнергии в электроприемниках и системах электроснабжения;
- регулирование режимов работы оборудования;
- улучшение качества электроэнергии.

Во время организации своей деятельности предприятия используют энергоресурсы различных: параметров; видов; назначения. В качестве энергоресурсов чаще всего на предприятии используются: вода; тепло; электроэнергия; воздух.

На обеспечение производственного процесса и содержание зданий затрачивается до 10 % закупаемых энергетических ресурсов. Эти затраты складываются из затрат на отопление и освещение зданий, хозяйственно-питьевое водоснабжение и других точек обеспечения.

Большинство зданий и помещений не отвечают современным требованиям по энергосбережению. Поэтому требуется дополнительные энергосберегающие стеклопакеты, утеплители, установка эффективной вентиляции и т. д.

Анализ мероприятий по повышению надежности электроснабжения промышленных предприятий

Константинова С. В., Веселов Ю. В.

Белорусский национальный технический университет

Для повышения надежности электроснабжения могут быть использованы различные средства. Это связано, с одной стороны, с получением экономического эффекта, в первую очередь за счет уменьшения ущерба от перерывов в электроснабжении, с другой – с дополнительными затратами на сами средства. Поэтому повышение надежности электроснабжения наиболее целесообразно до определенного оптимального уровня, при котором достигается максимальный суммарный экономический эффект с учетом обеих составляющих.

Перечислим основные пути повышения надежности систем электроснабжения:

1. Рациональное резервирование;
2. Использование перегрузочной способности элементов системы электроснабжения;
3. Совершенствование технического обслуживания;
4. Применение, правильный выбор и компоновка современного оборудования;
5. Повышение надежности релейной защиты и автоматики;
6. Уменьшение числа трансформаций, где это возможно;
7. Применение самозапуска ответственных двигателей;
8. Обеспечение пожарной безопасности электротехнических сооружений, внедрение устройств телесигнализации и локализации пожаров;
9. Использование гарантированных источников питания;
10. Внедрение ремонтов под напряжением;
11. Компенсация реактивной мощности;
12. Повышение качества электроэнергии;
13. Совершенствование конструкций и материалов, из которых изготавливают электрооборудование для систем электроснабжения.

На данный момент нет единого универсального метода, который бы полностью отвечал на все вопросы, связанные с бесперебойным электроснабжением потребителей. Для принятия решений в каждом конкретном случае необходим тщательный анализ условий и схем электроснабжения потребителей, состава электроприемников предприятий, их классификация по группам надежности, а также последствия прекращения электроснабжения предприятия для жизни и здоровья работников и населения, экологии и экономики региона.

**Оценка теплового воздействия кабелей с изоляцией из сшитого
полиэтилена на окружающую среду при прокладке их
в земляной траншее**

Короткевич М. А, Азаров С. Н.

Белорусский национальный технический университет

В процессе эксплуатации электрических кабелей происходит взаимное влияние окружающей среды на электрические кабели и кабелей на окружающую среду. Со стороны окружающей среды основными факторами, влияющими на электрический кабель, проложенный в земляной траншее, являются: колебания температуры, изменяющиеся теплофизические свойства почвы, наличие влаги, содержание активных химических элементов. При прокладке кабельных линий в земляной траншее изменяется первичная структура грунта, его предназначение (возможно ограничение ведения сельскохозяйственных работ), возможны изменения в системе водообразования (источников воды), флоры и фауны. При нагревании кабелей, окружающая его почва будет высыхать. С повышением температуры на 10 °С скорость химических реакций увеличивается в 2–3 раза. Повышение температуры почвы приводит к концентрации растворимых солей (NaCl, нитраты, сульфаты), одновременно происходит снижение газов, в том числе кислорода. Формирование застойного гидrolитического горизонта может резко снизить окислительно-восстановительный потенциал почвы вблизи кабельной линии, ухудшить состояние растений, вплоть до полной их гибели. Рассматривая ситуацию, при которой три одножильных кабеля находятся в земляной траншее (расположенных в плоскости), при температуре грунта 15 °С и его теплопроводности 1,8 Вт/К·м, глубине прокладки равной 0,7 метра, номинальном напряжении кабелей 10 кВ, поперечным сечением медной жилы 150 мм², находящихся под такой нагрузкой, что температуры жил не превышают допустимых 90 °С мы получим температуру на поверхности среднего кабеля 71,4 °С. Распределение температурного поля кабельной линии в почве будет следующим: на расстоянии 0,3 метра от поверхности крайнего кабеля, температура почвы достигнет 50,2 °С; на расстоянии 0,6 метра – 43,8 °С; 0,9 метра – 39,2 °С; 1,2 метра – 35,6 °С; 1,5 метра – 32,9 °С; 3,0 метра – 23 °С; 4 метра – 18,7 °С; 5 метров – 15 °С. На небольшом расстоянии от кабельной линии, температура почвы имеет достаточно высокие значения, что вызовет испарение влаги в слоях почвы и ее осушении. Если влага не может быстро пополняться из окружающей среды, то почва вокруг кабеля будет иссушаться далее.

Подстанция глубокого ввода

Баранова Д. В., Новиков С. О.

Белорусский национальный технический университет

Объектом, на который направлена аналитическая работа, является подстанция глубокого ввода. Официального толкования данного термина не существует. Согласно общепринятой формулировке, упомянутой в [1], под концепцией глубокого ввода понимается система внешнего электроснабжения потребителя от электрической сети высшего класса напряжения, с наименьшим числом ступеней трансформации, обеспечивающая передачу значительной мощности вглубь территории крупного города или крупного промышленного предприятия. Предметом исследования выступают особенности построения подстанции. При этом анализу следует подвергать три категории:

- начальные условия при проектировании;
- возможные трудности при строительстве;
- особенности эксплуатации подстанции глубокого ввода;
- критерии для оценки эффективности её сооружения.

Наибольшие трудности представляет первая категория, поскольку именно на этом этапе решается вопрос о целесообразности сооружения подстанции глубокого ввода. При рассмотрении начальных условий проектирования учитывается целый ряд факторов, наиболее значимые из которых: требования к качеству поставляемой электроэнергии и уровню надежности электроснабжения потребителя; территориальные особенности местности (стесненные условия, наличие специфических требований при сооружении трассы линии); структура существующей электрической сети данного района и возможность её преобразования.

Чаще всего подстанция глубокого ввода строится возле крупных промышленных центров, требующих повышенного качества и уровня надежности электроснабжения, при наличии районной электрической сети напряжением от 110 кВ. Такой проект может быть осуществлён в условиях экономического достатка, поскольку возведение такой подстанции может оказаться на порядок затратнее сооружения традиционных электрических сетей.

Оперативное планирование оптимальных режимов работы основной сети энергосистемы

Белько А. И., Прокопенко В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Снижение потерь активной мощности и электроэнергии в электрических сетях является одной из основных и первоочередных задач на этапе их эксплуатации. Решение этой задачи может быть осуществлено за счет уже имеющихся в электрической сети средств регулирования, либо за счет дополнительно устанавливаемых компенсирующих устройств.

Для оптимизации режимов сети могут использоваться различные методы:

- метод покоординатного спуска;
- пошаговый метод с анализом предыстории (метод наискорейшего спуска);
- многошаговый метод с учётом предыстории;
- ускоренный многошаговый метод с учётом предыстории.

При выполнении оптимизационных расчётов необходимо учитывать ряд технических ограничений, которые подразделяются на прямые и косвенные.

При осуществлении планирования оптимальных режимов сети энергосистемы необходимо провести ряд оптимизационных расчётов с целью выявления режима, соответствующего оптимальному уровню потерь активной мощности и электроэнергии. Данные расчёты выполняются на ЭВМ в специальных программах, позволяющие произвести расчёт режимов сети любой конфигурации. В случае оперативного планирования необходимо осуществить расчёт минимум трёх режимов: режимы наибольших, наименьших и средних нагрузок.

Для крупной энергосистемы была произведена оптимизация режимов наибольших и наименьших нагрузок, а также нескольких ремонтных режимов. Во время проведения оптимизации сети было обеспечено надёжное электроснабжение по межгосударственным, системообразующим линиям электропередач; надёжную работу электростанций, оборудования ПС; требуемый уровень напряжений в узлах, соответствующие допустимым пределам; требуемое качество электроэнергии.

В результате оптимизационных расчётов в некоторых режимах потери активной мощности снизились на величину до 2,59 МВт.

О влиянии влажности грунта на выбор параметров заземляющих устройств электроустановок

Драко М. А.
РУП «Белэнергосетьпроект»

Сопротивление заземляющих устройств (ЗУ) электроустановок зависит от свойств материала заземлителя, площади поверхности контакта заземлителя с грунтом, удельного сопротивления грунта, не являющегося величиной постоянной, а зависящего от содержания влаги в почве, растворимых солей и температуры.

Информацию об удельном сопротивлении грунта получают на стадии проектирования заземляющего устройства путем проведения геофизических измерений, вкупе с геологическими изысканиями, и она приводится в проекте заземляющего устройства. Экспериментальными методами автором определены значения электрического сопротивления осадочных горных пород в зависимости от влажности грунта (таблица).

Таблица

Значения электрического сопротивления осадочных горных пород
в зависимости от влажности грунта по результатам полевых
геофизических исследований в Республике Беларусь, Ом-м

Горная порода	По результатам вертикального электрического зондирования в зависимости от степени влажности			
	водонасыщенные [2]		сухие [2]	
	от	до	от	до
Песок	90	280	300	10000
Супесь	40	250	180	550
Суглинок	30	40	50	150
Глина	10	30	15	30
Песок глинистый	70	150	300	800

Повышенное содержание влаги в грунте приводит к значительному снижению его удельного сопротивления. Поэтому желательно, чтобы заземлители устанавливались на большой глубине – на уровне грунтовых вод или уровне стабильной влажности (на глубине 10–15 м).

Расчетное значение удельного сопротивления грунта при проектировании ЗУ должно вычисляться с учетом состояния земли в зависимости от влажности и сезонных изменений состояния грунта (промерзание в зимнее время и высыхание в летнее время).

Тестовая оценка расчета режимов и потерь электроэнергии городских сетей в условиях Smart Grid

Макаревич В. В., Зубарев А. А.

Белорусский национальный технический университет

Smart Grid – это концепция полностью интегрированной, саморегулирующейся и самовосстанавливающейся электроэнергетической системы, имеющей сетевую топологию и включающей в себя все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии, управляемые единой сетью информационно-управляющих устройств и систем в режиме реального времени.

В настоящее время в Республике Беларусь проходит первый этап реализации концепции – установка цифровых приборов контроля и учета электроэнергии у всех потребителей. Приборы цифрового учета позволят снимать показания не только суммарного потребления электроэнергии за расчетный период, но и другие режимные показатели в режиме реального времени, такие как: потоки активной и реактивной мощности, напряжение, ток, частота и т. д. Это позволяет:

1) использовать для расчетов потерь электроэнергии метод графического интегрирования, учитывающий графики потребления электроэнергии с получасовыми интервалами, вместо широко используемых в настоящее время приближенных методов (метод времени наибольших потерь, метод среднеквадратичных параметров режима, метод средних нагрузок и т. д.);

2) производить расчеты режимов и потерь за произвольный промежуток времени, анализировать текущие, ремонтные и планируемые режимы, а не только типовые режимы.

Однако учитывая то, что на данный момент не все потребители оснащены цифровыми приборами учёта, а также не все они связаны в единую систему автоматизированного контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ) различный характер потребления электроэнергии отдельных потребителей приходится учитывать типовыми графиками нагрузок. Типовой график электрических нагрузок – это усредненный по времени и набору токоприемников график нагрузки аналогичных по режиму работы потребителей или сети. Такая методика позволяет повысить точность определения потерь электроэнергии в сетях 6–10 кВ за счёт более точного распределения нагрузок между трансформаторами потребительских подстанций, по сравнению с традиционным распределением нагрузки центра питания, пропорционально установленным мощностям трансформаторов потребительских подстанций.

Противоаварийное управление в системах электроснабжения с местными генерирующими установками

Калентионек Е. В.

Белорусский национальный технический университет

На основе анализа используемых принципов и средств противоаварийного управления в системах электроснабжения с местными генерирующими установками показано:

- противоаварийная автоматика защитных отключений, основанная на измерении напряжения в аварийных режимах приводит к излишнему отключению генерирующих установок от электрической сети;
- противоаварийная автоматика повторного включения и включения резерва в электрической сети может приводить к повреждению генерирующих установок из-за несинхронного включения;
- автоматическое регулирование систем возбуждения местных генерирующих установок не позволяет в большинстве случаев предотвратить нарушение как статической, так и динамической устойчивости;
- действие автоматики ликвидации асинхронного режима не всегда эффективно, так как электрический центр качаний находится в электрической сети;
- использование выключателей нагрузки с автоматическим секционированием линии в системах электроснабжения приводит к нарушению функционирования генерирующих установок из-за большой длительности аварийного режима;
- противоаварийная делительная автоматика в системе электроснабжения в большинстве случаев не обеспечивает надежную автономную работу местных генерирующих установок;
- средства противоаварийного управления, выполненные на дискретной электромеханической или полупроводниковой аналоговой базе не позволяют реализовать многократное автоматическое повторное включение элементов электрической сети или выполнить сетевой автоматический ввод резерва.

В настоящее время довольно детально разработаны технические принципы выполнения делительной автоматики (ДА) на электрических станциях электроэнергетических систем. Применительно к ДА на промышленных предприятиях, в литературе лишь обозначены особенности ее выполнения на потребительских блок-станциях. Поэтому разработка технических принципов и решений выполнения делительной автоматики в системах электроснабжения является актуальной.

Решение транспортной задачи в MathCAD

Новиков С. О. Новикова Л. И.

Белорусский национальный технический университет

Формирование исходных данных для задачи:

1. Специальной переменной ORIGIN присваивают значение 1.
2. Вводят исходные данные задачи в матричной форме, например:

$m := 3$ $n := 5$ где m – количество поставщиков, а n – количество потребителей энергии

$j := 1..n$ $i := 1..m$

$t_j := 1$ $l_i := 1$

Мощности
источников

$$a := \begin{pmatrix} 180 \\ 350 \\ 20 \end{pmatrix}$$

Потребности
потребителей

$$b := \begin{pmatrix} 110 \\ 90 \\ 120 \\ 80 \\ 150 \end{pmatrix}$$

Стоимость
передачи

$$c := \begin{pmatrix} 2 & 4 & 1 & 6 & 7 \\ 3 & 3 & 5 & 4 & 2 \\ 8 & 9 & 6 & 3 & 4 \end{pmatrix}$$

3. Вводят линейную целевую функцию.

$$f(x) := \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{i,j} \cdot x_{i,j})$$

4. Задают начальные значения переменным задачи.

$$x_{1,j} := 0$$

Решающий блок для сбалансированной задачи

5. Вводят ограничения задачи в матричной форме (в случае небольшого числа переменных можно ввести ограничения в естественной форме)

Given

$$x \cdot t = a \quad x^T \cdot l = b \quad x \geq 0$$

6. Определяют оптимальное решение задачи с помощью встроенной функции Minimize.

$$x := \text{Minimize}(f, x)$$

$$x = \begin{pmatrix} 60 & 0 & 120 & 0 & 0 \\ 50 & 90 & 0 & 60 & 150 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 \end{pmatrix}$$

$$f(x) = 1.26 \times 10^3$$

Анализ и визуализация результатов мониторинга состояния силового трансформатора

Петрашевич Н. С.

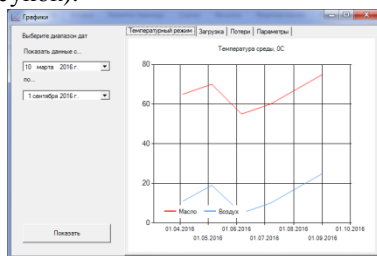
Белорусский национальный технический университет

Распределительные масляные трансформаторы занимают значимое место в структуре трансформаторного парка Республики Беларусь. Значительное количество и длительный период эксплуатации позволяют судить некоторых статистических закономерностях параметров трансформаторов.

Известно, что определение некоторых параметров текущего состояния трансформатора достаточно проблематично в виду высокой стоимости мероприятий. В то же время такие параметры как загрузка, напряжение, температура масла в верхних слоях могут быть определены достаточно легко. Используя стандартную тепловую модель масляного трансформатора, а также результаты измерений параметров температуры и загрузки, можно провести анализ расхождения паспортных значений потерь мощности как холостого хода, так и нагрузочных с фактическими, а также определить наименее эффективные (с точки зрения потерь) трансформаторы.

Кроме того, используя математический аппарат машинного обучения для каждого трансформатора в отдельности, можно спрогнозировать его технически и экономически целесообразный срок эксплуатации. В зависимости от задачи и глубины прогнозирования можно выбирать различное количество влияющих факторов.

Современные средства программной визуализации позволяют представлять данные о состоянии трансформатора в удобном для восприятия человеком виде (рисунок).



Визуализация параметра температуры трансформаторного масла

В соответствии с вышесказанным, был разработан прототип программной системы для анализа и визуализации параметров состояния трансформаторов. Основными параметрами мониторинга выступают температура масла трансформатора и величина загрузки.

Использование вычислительного ядра программного комплекса RastrWin для специфических энергетических задач

Петрашевич Н. С.

Белорусский национальный технический университет

Программный комплекс RastrWin представляет собой мощный инструмент для проведения расчётов, анализа и оптимизации режимов электрических систем и позволяет охватить широкий круг задач. Однако некоторые специализированные задачи, такие как задача замены трансформаторов или кабельных линий не могут быть решены в программном комплексе без предварительной подготовки исходных данных. Кроме того, в ряде случаев задача расчёта режима электрической сети может являться вспомогательной или проводиться значительное число раз, например при проведении технико-экономических расчётов или при планировании развития электрической сети.

Для решения узкоспециализированных задач программный комплекс RastrWin имеет встроенные функции взаимодействия с базами данных, электронными таблицами и т.п. Одной из наиболее значительных возможностей программного комплекса – доступ к расчётному ядру программы. Доступ к вычислительному ядру может быть осуществлён двумя путями: либо через макро студию путём написания скриптов на VBScript, либо через библиотеку ASTRALib (файл astra.dll). Первый вариант более простой и позволяет даже студенту-энергетику без особых усилий проводить многократные расчёты режима для решения прикладных задач. Второй вариант более трудоёмок, однако он позволяет интегрировать мощный вычислительный аппарат программного комплекса RastrWin в приложения, предназначенные не только для учебного пользования, но и для промышленного применения. Библиотека ASTRALib, имеющая COM-интерфейс, может использоваться во многих современных языках программирования, таких как C#, Python и др. В совокупности с библиотеками визуализации, анализа, машинного обучения и другими, возможности такого использования практически не ограничены.

Использование библиотеки динамической компоновки astra.dll позволяет не только упростить создание специализированных программ, но и автоматизировать однотипную, рутинную работу. Кроме того, как показывает практика применения, скорость выполнения расчётов с использованием только вычислительного ядра значительно, на порядок, превышает скорость выполнения в программном комплексе, что позволяет значительно экономить вычислительные ресурсы.

Перспективы развития ветроэнергетики в Республике Беларусь

Петруша Ю. С., Попкова Н. А.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее привлекательным в использовании ветровых электростанций (ВЭС) является отсутствие топливной составляющей в себестоимости производства электроэнергии. К числу ограничений следует отнести низкую плотность потока первичного энергоресурса и его неуправляемость, вынужденность места расположения, ограниченный срок службы 20–25 лет, необходимость дополнительной электрической сети по сбору электроэнергии, гололедообразование, низкий коэффициент использования установленной мощности (0,3–0,35), опасность останова ветропарка при порывах ветра свыше 20–25 м.

Целесообразность и масштабы использования ВЭС в Беларуси следует соотносить с ответом на следующие вопросы:

- приемлемость географических и климатических условий;
- анализ условий и результатов эксплуатации введенных ВЭС;
- экономические показатели;
- выбор наиболее целесообразных технических решений и параметров отдельных ВЭС и ветропарков в целом;

Анализ конструктивных решений и природно-климатических условий показывает пригодность условий Беларуси к развитию ВЭС. При более детальном исследовании внимание следует уделять выбору площадок размещения по критериям охраны окружающей среды, а также экономическим и социальным последствиям эксплуатации ВЭС.

Первоочередными факторами при выборе площадки являются параметры ветрового потока (средней максимальной скорости, направления ветра, определение повторяемости направления ветров (розы ветров)). Необходимо также учитывать влияния рельефа местности на энергетические характеристики, возможное падение скорости и изменение направления ветрового потока над поверхностью земли, а также возникновения касательных напряжений.

Ограниченность возможностей метеонаблюдений штатными станциями дополняется аппроксимацией кривой повторяемости скорости ветра функциями Вейбулла и Рэля с учетом характеристик ВЭС и рельефа местности.

Рельеф местности, ветровые характеристики и конструктивные особенности ведущих производителей позволяют получить использование установленной мощности заметно выше средне статистических.

Использование матриц чувствительности узлов сети по напряжению в оптимизационных задачах

Прокопенко В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных ограничений при решении задач управления режимами основных электрических сетей энергосистем являются допустимые пределы изменения напряжения узлов схемы сети. Допустимые пределы изменения напряжения ограничиваются разными факторами: повреждением изоляции оборудования, требуемой величиной напряжения в центрах питания распределительных сетей 6–10 кВ, перевозбуждением трансформаторов и др.

Накопленный опыт решения таких задач как оптимизация режимов основных сетей энергосистем по напряжению и реактивной мощности, определение мощности и мест установки компенсирующих устройств, ввод послеаварийных режимов в допустимую область при больших отклонениях напряжений узлов показал эффективность методов контроля величин напряжений узлов схемы сети, основанных на использовании линейной зависимости напряжений узлов от реактивной мощности источников, коэффициентов трансформации автотрансформаторов связи и аппарата матриц чувствительности. Матрицы чувствительности представляют собой изменение напряжений узлов схемы отнесенные к единичной реактивной мощности источников $\|\Delta U/\Delta Q\|$ и к ступени изменения коэффициентов трансформации $\|\Delta U/\Delta k\|$. Размер матриц чувствительности определяется числом переменных задач и числом узлов схемы, в которых осуществляется контроль ограничений по напряжению. Так, например, при решении задач оптимизации режима основной сети по напряжению и реактивной мощности и определения мощности и мест установки компенсирующих устройств пошаговыми дискретными методами, начиная с повторного изменения любой переменной при рассчитанной матрице чувствительности, появляется возможность рассчитать ожидаемые величины напряжений узлов схемы сети и сравнить их с допустимыми. В случае нарушения ограничений соответствующая переменная на данном этапе оптимизации не меняется (коэффициент трансформации) или корректируется ступень изменения реактивной мощности источника. Коррекция осуществляется с использованием соответствующего элемента матрицы чувствительности. Это приводит к упрощению решения оптимизационных задач и к уменьшению числа рассчитываемых режимов. Погрешность прогнозируемых величин напряжений узлов схемы сети при использовании пошаговых методов близка к нулю.

Экономическое обоснование и принципы нормирования технологического расхода электроэнергии в электрических сетях

Секацкий Д. А.

Белорусский национальный технический университет

Под нормированием технологического расхода электроэнергии (ТРЭ) понимается процедура установления (расчет, обоснование, согласование и утверждение) нормативов ТРЭ на рассматриваемый период времени (месяц, квартал, год). Сам же норматив (нормированные ТРЭ) – это сумма технологических потерь и их сезонной составляющей в абсолютных (тыс. кВт·ч.) или относительных (%) единицах.

В Республике Беларусь установлена персональная ответственность руководителей энергоснабжающих организаций и их структурных подразделений за обоснованность, качество исполнения и своевременное предоставление нормативов ТРЭ на всех уровнях электрических сетей.

Для изложения принципа нахождения экономических значений режимных параметров исследуем их. На основе исследований Г. Е. Поспелова и М. И. Фурсанова, можно записать, что:

$$C_{пл} + C_{нс} = \frac{p_{л} K_{л}}{P_{макс} T_{ми}} + \frac{\Delta P_{кор} T \beta_{кор}}{P_{макс} T_{ми}} + \frac{P_{макс} r_{л} \tau \beta_{н}}{U^2 \cos^2 \varphi T_{ми}} + \frac{p_{м} K_{м}}{P_{макс} T_{ми}} + \frac{\Delta W_{0} \beta_{0}}{P_{макс} T_{ми}} + \frac{\Delta W_{нт} \beta_{м}}{P_{макс} T_{ми}},$$

где $p_{л}$ – суммарный коэффициент отчислений от стоимости линии $K_{л}$; $\Delta W_{кор}$ – потери электроэнергии на корону, $\beta_{кор}$ – стоимость 1 кВт·ч $\Delta W_{кор}$; $\Delta W_{н}$ – нагрузочные потери электроэнергии; $\beta_{н}$ – стоимость 1 кВт·ч $\Delta W_{н}$; $\Delta P_{кор}$ – потери мощности на корону; $r_{л}$ – суммарный коэффициент отчислений от стоимости трансформаторов $K_{т}$; ΔW_{0} – потери электроэнергии холостого хода; β_{0} – стоимость 1 кВт·ч ΔW_{0} ; $\Delta W_{нт}$ – нагрузочные потери электроэнергии в трансформаторах; $\beta_{нт}$ – стоимость 1 кВт·ч $\Delta W_{нт}$; ΔP_{0} – потери мощности холостого хода.

Для линейной составляющей можно записать:

$$\frac{\partial C_{пл}}{\partial \Delta P_{н} \%} = \frac{\tau \beta_{н}}{T_{ми} 10^2} \left[- \frac{(p_{л} K_{0} \ell + \Delta P_{кор} T \beta_{кор}) r_{0} \ell 10^4}{\tau \beta_{н} \Delta P_{н} \%^2 U^2 \cos^2 \varphi} + 1 \right] = 0$$

заметим, что $\tau \beta_{н} \Delta P_{н} \%^2 U^2 \cos^2 \varphi = (p_{л} K_{0} \ell + \Delta P_{кор} T \beta_{кор}) r_{0} \ell 10^4$, откуда искомые значения $\Delta P_{эл} \%$ (с учётом потерь на корону $\Delta P_{кор}$) будут равны соответственно:

$$\Delta P_{эл} \% = \frac{10^2}{U \cos \varphi} \sqrt{\frac{(p_{л} K_{0} \ell + \Delta P_{кор} T \beta_{кор}) r_{0} \ell}{\tau \beta_{н}}}$$

и

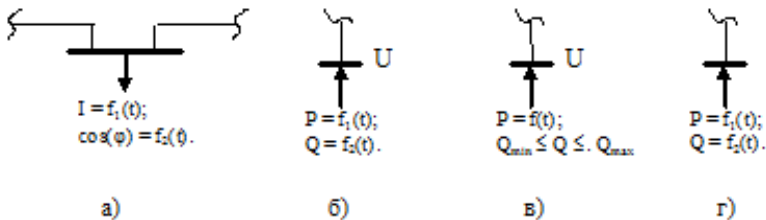
$$\Delta P_{эм} \% = \frac{10^2}{U_{м} \cos \varphi_{м}} \sqrt{\frac{(p_{м} K_{м} + \Delta P_{0} T \beta_{0}) r_{м}}{\tau_{м} \beta_{м}}}$$

Структура и режимы городских электрических сетей в условиях SMART GRID

Фурсанов М. И., Золотой А. А.

Белорусский национальный технический университет

Структура и режимы городских электрических сетей в условиях SMART GRID принципиально отличаются по сравнению с сетями традиционного исполнения. Например, насыщение городских электрических сетей в условиях SMART GRID потребительскими источниками малой генерации уже не позволяет применять математические модели и методы электрических расчётов, традиционные для электрических сетей с разомкнутой топологией. Источники малой генерации, подключенные в узлах нагрузки распределительных линий, образуют с центрами питания схемы замкнутые контуры. В зависимости от поведения и влияния на режимы в однолинейных схемах замещения распределительных сетей 6–10 кВ источники малой генерации можно представлять тремя видами математических моделей. На рисунке приведены схемы замещения, моделирующие нагрузки и источники питания в однолинейных схемах городских сетей 0,38–10 кВ.



Однолинейные схемы замещения для моделирования нагрузки и источников питания распределительных электрических сетей 0,38–10 кВ:

a) – нагрузка; б) – центр питания; в) – источник малой генерации с регулированием напряжения; г) – источник малой генерации без регулирования напряжения

На этапе предшествующем выполнению электрических расчётов строится равнозначная и сбалансированная расчётная модель исходного режима сети на заданный момент времени суточного графика нагрузки. При построении сбалансированной расчётной модели решаются две основные задачи. Первая – преобразование токовых математических моделей нагрузок к PQ-моделям для источников питания без средств автоматического регулирования и вторая – согласование моделей нагрузок и источников питания схемы по точности задания параметров.

Определение коэффициентов полезного действия длинных воздушных линий

Старжинский А. Л.

Белорусский национальный технический университет

Для линий электропередачи различают:

– максимальный коэффициент полезного действия (КПД) – это наибольший КПД при изменении нагрузки в широких пределах и неизменном напряжении одного из концов линии электропередачи, который определяется только ее эквивалентными сопротивлениями и проводимостями.

– наибольший КПД – значение, определяемое режимом работы линии с наименьшими относительными потерями мощности в ней при заданном напряжении по концам линии.

– экономический КПД – значение, соответствующее минимальной стоимости передачи электроэнергии.

КПД по мощности характеризует мгновенное значение эффективности электропередачи.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}, \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – мощность в начале и конце передачи; ΔP – потери мощности в данном режиме. Экономический η , КПД линии может быть определен по формуле

$$\eta_3 = \frac{\ell_k}{\ell + \ell_k}, \quad (2)$$

где ℓ_k критерияльная длина линии, км.

Выясним соотношение между указанными КПД, определенными по мощности, применительно к электропередачам напряжением 330 кВ протяженностью 343 км и 750 кВ протяженностью 417,7 км, работающими в Белорусской энергосистеме. Установлено, что при длине линии 417,7 км напряжением 750 кВ передаваемая мощность, соответствующая максимуму КПД, составляет около 482 МВт (0,23 от натуральной), а для линии напряжением 330 кВ длиной 343 км, равна 76,76 МВт (0,19 от натуральной). Показано, что с увеличением длины линии, экономический КПД снижается и соответствует для линии 750 кВ максимальному, определяемому единичными параметрами линии лишь в условиях предварительного выбора оптимальных значений номинального напряжения и площади поперечного сечения проводов.

**Разработка методики оценки устойчивости железобетонных опор
линий электропередачи**

Короткевич М. А., Супруненко А. М.
Белорусский национальный технический университет

Расчет закрепления опор в грунте является наиболее сложным вопросом проектирования инженерных конструкций линий электропередачи. Сложность его обусловлена прежде всего тем, что линия электропередачи, будучи сооружением большой протяженности, проходит в многообразных геологических условиях, определить которые достаточно точно для каждой опоры фактически не представляется возможным. Проектированию фундаментов опор линий электропередачи предшествуют геологические и гидрогеологические изыскания трассы, в результате которых должны быть установлены физические и механические характеристики грунтов, используемых в качестве основания. Четкая методика определения их устойчивости при проектировании на данный момент не разработана. Это объясняется тем, что при расчете свободностоящих железобетонных опор по деформациям критерием устойчивости является угол поворота стойки опоры в грунте, его определение сводится к введению некоторых коэффициентов, значения которых невозможно определить точно, вследствие чего они могут варьироваться в достаточно широких пределах. Этот недостаток приводит к необходимости преждевременного выполнения большого объема работ по выправке опор, что сопровождается дополнительными эксплуатационными расходами. В настоящее время существует ряд расчетных гипотез, выдвинутых в различное время и используемых для расчета на опрокидывание узких фундаментов глубокого заложения. Все эти гипотезы построены на основании эпюр бокового давления разной формы и различных способов учета сил трения, развивающихся на поверхности стойки под действием бокового давления. Для расчета заделки по устойчивости (первому предельному состоянию) принята трапециевидальная эпюра давления грунта по боковой поверхности, которая учитывает не только внутреннее трение в массиве грунта, но и сцепление между его частицами. Такая эпюра более соответствует ненарушенному грунту, чем применявшаяся ранее треугольная эпюра.

УДК 621.311

Антигололедное ультразвуковое устройство на воздушных ЛЭП – запатентованная модель по снижению гололедных аварий

Фарино А. А.

Белорусский национальный технический университет

За последние два десятилетия гололёд на высоковольтных электрических линиях стал возникать всё чаще и чаще. Это достаточно опасное явление. В результате налипшего льда масса проводов увеличивается в несколько раз, что при сильных порывах ветра зачастую приводит к обрыву проводов, поломке траверс и опор.

К опасным регионам с точки зрения образования гололёда на проводах ВЛ относят Дальний Восток и Северо-Запад России, Поволжье и Северный Кавказ, территорию Беларуси и ряд Северных стран Европы, где образование гололёда считалось раньше маловероятным. Участвовавшие гололёдные аварии на ЛЭП связаны с общим потеплением климата и влекут за собой немало сил и средств на их предотвращение и ликвидацию последствий.

Существующие традиционные способы удаления гололёда на проводах ВЛ (плавка наледи электрическим током, использование виброгасителей «пляски» проводов) недостаточно эффективны, неудобны, дорогостоящи и порой опасны.

В связи с этим предлагается инновационный способ ликвидации гололёдно-изморозевых образований (ГИО) на проводах воздушных электрических линий, в принципе действия которого положена разрушающая способность резонансных ультразвуковых колебаний, действующих на кристаллическую решётку льда с частотой 22 кГц. В результате действия ультразвука в наледи проводов образуется множество микротрещин, которые накапливаются и разрушают имевшиеся ГИО – отложения на проводах ВЛ.

Описанное устройство запатентовано как полезная модель под № 11388 от 15. 02. 2017 г. Дата публикации патента - 30. 06. 2017 г.

После проведения полномасштабных испытаний данного антигололёдного УЗ-устройства на проводах ВЛ, и при его дальнейшем внедрении, допустимо снижение количества гололёдных аварий на участках ЛЭП, а также уменьшение потерь активной мощности на электропередаче и более экономичное расходование топлива на электростанциях.

Работа выполнена в соавторстве с Фурсановым М. И.

Обеспечение и достижение структуры и функционирования распределительных сетей SMART GRID

Макаревич В. В.

Новые условия функционирования электроэнергетики, повышение требований к технологическому состоянию отрасли, надёжности систем в большинстве развитых стран предопределили переход к реструктуризации электрических сетей энергосистем на базе инновационной структуры SMART GRID (интеллектуальных электрических сетей).

Основными этапами достижения структуры и функционирования распределительных сетей SMART GRID являются:

1. Внедрение системы автоматизированного контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ), включающей: устройства телеизмерения параметров режима электрических сетей, сбор и агрегирование информации, каналы связи, базы данных, системы отображения параметров режима и адекватное программное обеспечение.

2. Выполнение расчётов технологического расхода (потерь) электроэнергии в многообъёмных распределительных электрических сетях 0,38–10 кВ методом оперативного расчёта, использующим телемеханические измерения режимной информации и позволяющим повысить точность определения потерь электроэнергии в сетях 6–10 кВ за счёт более точного распределения нагрузок между трансформаторами потребительских подстанций по сравнению с традиционным распределением нагрузки центра питания пропорционально установленным мощностям трансформаторов потребительских подстанций и анализировать величину прироста потерь в сетях из-за несимметричного подключения потребителей и схемной несимметрии за счёт пофазного расчёта схем 6-10-0,38 кВ.

3. Оптимизация распределительной сети 6-10-0,38 кВ (оптимизация точек размыкания сети, оптимизация трансформаторных мощностей и сечений проводников, оптимизация потоков реактивной мощности и т. д.).

4. Внедрение системы автоматизированного управления состоянием и режимами распределительной электрической сети, которая подразумевает как установку дополнительного оборудования (реклоузеры, датчики и т. д.), так и внедрение соответствующего программного обеспечения, которое в режиме реального времени будет следить за оптимальным состоянием распределительной сети, оценивать и реагировать на топологические и режимные возмущения путём выработки соответствующих управляющих воздействий.

Работа выполнена в соавторстве с Фурсановым М. И.

**Повышение уровня образования и практических навыков кафедры
«Электрические системы»**

Фурсанов М. И.

Белорусский национальный технический университет

Повышение уровня высшего образования в Республике Беларусь установлено на основе принципов государственной политики в сфере образования, которые изложены в Кодексе Республики Беларусь об образовании, Национальной стратегии устойчивого развития страны на период до 2030 года, Программе деятельности Правительства на 2016–2020 годы и Государственной программе «Образование и молодежная политика» на 2016–2020 годы.

Цели развития высшего образования следующие:

повышение качества образования в соответствии с инновационной экономикой; на основе требований информационного общества и образовательными запросами граждан; развитие потенциала молодежи и вовлечение ее в общественно полезную деятельность.

Основные задачи высшего образования на 2018–2020 годы:

1. повышение качества подготовки специалистов, эффективности практико-ориентированной подготовки и углубление связей с организациями заказчиками кадров;
2. повышение конкурентоспособности высшего образования Республики Беларусь в мире;
3. совершенствование системы планирования и оптимизации структуры подготовки кадров с высшим образованием.

Перечисленные целевые показатели могут быть достигнуты на основе реализации мероприятий, полный перечень которых приведен в Постановлении Министерства образования Республики Беларусь «Об организации образовательного процесса в учреждениях высшего образования». Для выполнения задачи 1 (повышение качества подготовки специалистов) рекомендуется выполнить 16 мероприятий, 2 (повышение конкурентоспособности) – 9 мероприятий, 3 (оптимизация структуры подготовки кадров) – 10 мероприятий.

В БНТУ разработан перечень требований по повышению качества образования, особенно для не очень грамотных и ответственных студентов. Кроме изложенного, в докладе представлены структура и система высшего образования престижных стран мира. Показано, что при поступлении в вузы вступительные экзамены, как правило, не предусмотрены. Самое главное для абитуриента – успешно сдать школьные выпускные экзамены.

Повышение достоверности определения зоны междуфазного короткого замыкания в токовых защитах линий 6–35 кВ

Романюк Ф. А., Булойчик Е. В.

Белорусский национальный технический университет

Ступенчатые токовые защиты применяются для защиты линий электропередачи 6–35 кВ от междуфазных коротких замыканий (КЗ). Условия выбора тока срабатывания быстродействующей ступени для обеспечения ее селективного действия обуславливает ограниченность зоны мгновенного отключения, ее зависимость от вида повреждения, режима работы сети и наличия переходного сопротивления в месте повреждения.

Повысить защитоспособность быстродействующей ступени токовой защиты и ограничить влияние на зону ее действия указанных выше факторов возможно путем использования достоверной информации о зоне КЗ. Чтобы избежать существенного усложнения токовой защиты, целесообразным для реализации в алгоритме ее функционирования представляется односторонний дистанционный метод по параметрам аварийного режима с учетом вида повреждения. К основным факторам, влияющим на достоверность определения зоны КЗ на основе дистанционного метода относятся: погрешности электромагнитных измерительных трансформаторов; влияние аperiodических составляющих электромагнитного переходного процесса; неточность задания параметров линии; переходные сопротивления в месте повреждения; нагрузочные токи и другие факторы.

Определение зоны повреждения в токовой защите производится путем сравнения расчетного расстояния $l_{КЗ}$ от места установки защиты до точки КЗ с длиной защищаемой линии. Вычисление $l_{КЗ}$ по параметрам петли междуфазного КЗ исключает влияние общего переходного сопротивления (на землю), но не фазных. По результатам вычислительного эксперимента во многих случаях коротких замыканий через переходное сопротивление на нагруженной линии для определения зоны повреждения с удовлетворительными погрешностями необходима коррекция расчетного расстояния до места КЗ, вычисленного по параметрам поврежденной петли (петель).

По результатам вычислительного эксперимента получены корректирующие выражения на основе двух относительных несимметрий токов, определяемых по действующим значениям разностей фазных токов линии для выявления вида КЗ. Применение предложенного способа коррекции позволяет повысить достоверность определения зоны повреждения, в худшем случае обеспечивается определение зоны повреждения за время, не превышающее 26 мс.

**Цифровые фильтры, используемые в релейной защите
для выделения первой и второй гармоник**

Романюк Ф. А., Каченя В. С.

Белорусский национальный технический университет

В электроустановках с силовыми трансформаторами при их включении без нагрузки под напряжение, при восстановлении напряжения после отключения внешних коротких замыканий и в ряде других случаев возникает бросок тока намагничивания (БТН). Под воздействием указанного броска токовые защиты электроустановок могут ложно сработать. Это можно предотвратить либо увеличением тока срабатывания защит, что не всегда приемлемо, либо осуществлением их блокировки при появлении БТН.

Классический способ выполнения блокировки защиты при БТН основывается на отстройке по гармоникам. Содержание в токе низших гармоник может являться критерием, разрешающим срабатывание защиты, а наличие в этом токе гармоник высшего порядка – свидетельствовать о появлении БТН и использовании их для блокировки действия защиты.

Одна из реализаций предлагает использование амплитуды тока второй гармоники обратной последовательности и амплитуды тока первой гармоники прямой последовательности, по которым определяется параметр блокировки. Для получения необходимой информации из соответствующих токов с помощью частотных фильтров выделяются гармоники с частотами 100 и 50 Гц, по которым формируются их синусная и косинусная ортогональные составляющие (ОС). По указанным ОС, либо отсчётам мгновенных значений одной из них, вычисляются амплитуды токов первой и второй гармоник для последующего определения параметров блокировки.

В работе рассматривается принцип выполнения и исследуются частотные и динамические свойства соответствующих фильтров, обеспечивающих в итоге получение амплитуд токов первой и второй гармоник.

Параметры электродинамической стойкости гибких проводов и их допустимые значения

Сергей И. И., Климкович П. И.

Белорусский национальный технический университет

В общем случае оценка электродинамической стойкости гибких проводов производится путем анализа их динамических характеристик: траекторий движений заданных точек проводов фаз, изменений во времени горизонтальных, вертикальных отклонений и тяжений при и после отключения короткого замыкания (КЗ). В результате определяются максимальные отклонения (R_{\max}) и тяжения проводов (T_{\max}), которые необходимо сравнить с допустимыми значениями по условиям электродинамической стойкости

$$R_{\max} \leq R_{\text{доп}}; T_{\max} \leq T_{\text{доп}},$$

где $T_{\text{доп}}$ – допустимое тяжение проводов, Н; $R_{\text{доп}}$ – допустимое отклонение проводов, м.

Проверка недопустимого сближения гибких проводов выполняется по максимальной сумме отклонений проводов соседних фаз в момент их наибольшего сближения

$$A - (R_1 + R_2 + 2r_{\Pi}) \geq A_{\text{ф-ф доп}},$$

где A – расстояние между соседними фазами в режиме климатических нагрузок, предшествующем КЗ; R_1 и R_2 – отклонения проводов соседних фаз в момент времени их наибольшего сближения; $A_{\text{ф-ф доп}}$ – минимально допустимые расстояния по условиям пробоя соответственно между проводниками фаз при рабочем напряжении; r_{Π} – радиус провода или расщепленной фазы.

Отклонения R_1 и R_2 не равны между собой даже при двухфазном КЗ из-за разного влияния проводов спусков и ветра на динамику сборных шин соседних фаз. Наибольшее сближение фаз происходит на стадии свободного движения проводов после отключения КЗ. Наиболее сближенными при КЗ могут оказаться провода сборных шин одной фазы с проводами спусков соседней фазы. Поэтому при компьютерном расчете условие электродинамической стойкости записывается в общем виде:

$$\min(R_i - R_j) - 2r_{\Pi} \geq A_{\text{ф-з доп}}; \min(R_i - R_{zk}) - r_{\Pi} \geq A_{\text{ф-з доп}};$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, m,$$

где n – количество взаимодействующих при КЗ проводов; m – число точек конструкций распределительного устройства (РУ), проверяемых по условию недопустимого приближения проводов; R_j – радиус-вектор мгновенного положения элемента i -го провода при КЗ; R_{zk} – то же, положения ближайшей к отклоненному проводу точки заземленной конструкции РУ.

Испытания элементов микропроцессорной защиты силового трансформатора с помощью программного диагностического комплекса

Румянцев В. Ю.

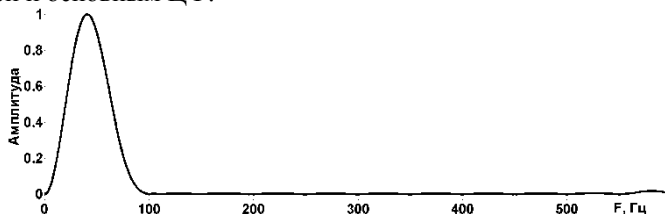
Белорусский национальный технический университет

Основным элементом микропроцессорных защит являются цифровые фильтры (ЦФ), формирующие на своем выходе контролируемый сигнал. Исследовалась работоспособность различных типов ЦФ в составе измерительного органа тока микропроцессорной защиты силового трансформатора: фильтра, реализованного по методу наименьших квадратов (МНК), косинусного фильтра (КФ) и ЦФ на основе формирователей ортогональных составляющих (ФОС). Для этого в среде MATLAB-Simulink был создан программный диагностический комплекс, реализующий имитационную модель для получения форм сигнала вторичного тока ТТ, максимально приближенную к реальным сигналам аварийных режимов, а также модели ЦФ.

В результате проведенных исследований было установлено, что ЦФ на основе МНК не может быть рекомендован к использованию в цифровых устройствах релейной защиты. Повышенные биения выходного сигнала ФОС существенно ослабляются, если сигнал предварительно проходит через входной аналоговый фильтр нижних частот второго порядка. Наиболее достоверно амплитуда основной гармоники вторичного тока ТТ определяется КФ.

Существенно повысить качество фильтрации искаженных сигналов помогают оконные функции. Для этих целей широко используются косинусные окна, наиболее простым и эффективным из которых является окно Хэмминга.

Окно Хэмминга представляет собой ЦФ, который включается последовательно с основным ЦФ измерительного органа тока (рисунок). Поэтому контролируемый сигнал претерпевает двойную фильтрацию – оконной функцией и основным ЦФ.



АЧХ ЦФ совместно с окном Хэмминга

Компьютерные программы для расчета электродинамического действия токов короткого замыкания на гибкие проводники

Пономаренко Е. Г., Сергей И. И.

Белорусский национальный технический университет

Нормативные документы [1] рекомендуют вести расчет гибких проводников на электродинамическое действие токов КЗ с помощью компьютерных программ. Упрощенные методы не позволяют учесть термическое и упругое удлинение провода, изменение его формы во время движения при КЗ. Очень приближенно в упрощенной методике [1] учтены конструктивные элементы пролета с гибкими токопроводами: гирлянды изоляторов, отпайки, шлейфы, опорные конструкции. Все это вносит существенную погрешность в результаты расчетов.

Предлагается использовать для расчетов электродинамического действия токов КЗ на гибкие токоведущие конструкции компьютерные программы, как это рекомендуется стандартом [1]. Программы являются собственной разработкой авторов и плодом многолетних исследований в области электродинамической стойкости. В настоящее время на кафедре «Электрические станции» БНТУ в разработке находятся два программных продукта: «FlеBus», предназначенный для расчета электродинамического действия токов КЗ на гибкие шины распределительных устройств, и «LinEDyS+» – для расчета воздушных линий электропередачи.

Алгоритм расчета в представленных программах построен на уравнениях гибкой упругой нити, которые являются дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Численный метод решения указанных уравнений применительно к гибким токоведущим конструкциям разработан и подробно представлен в публикациях авторов. В программах учитываются основные конструктивные элементы пролетов с гибкими токоведущими частями: порталы или опоры, гирлянды изоляторов, электрические аппараты и отпайки к ним, а также различные параметры короткого замыкания и климатические условия, предшествующие и сопутствующие КЗ: ветер, температура окружающей среды и гололед.

Алгоритм расчета, использованный в программах апробирован с применением экспериментальных данных, которые были получены Бельгийской лабораторией LABORELEC при испытаниях в тестовом пролете.

Применение матричной системы MATLAB для преобразования последовательных файлов данных в формат COMTRADE

Новаш И. В., Румянцев В. Ю.

Белорусский национальный технический университет

В докладе рассмотрен алгоритм формирования информационных сигналов в формате COMTRADE. Данный формат является универсальным форматом представления информационных сигналов, которые используются для испытания устройств релейной защиты и автоматики с помощью испытательных установок типа РЕТОМ или OMICRON.

Для преобразования последовательного файла результатов в формат COMTRADE используется специализированная файл-функция MatLab `write_comtrade.m`.

Просмотр графика из COMTRADE-файла может осуществляться с помощью специализированной программы TransPlay из комплекта программного обеспечения OMICRON Test Universe (рисунок), обеспечивающей выбор, воспроизведение и просмотр заранее подготовленных осциллограмм.

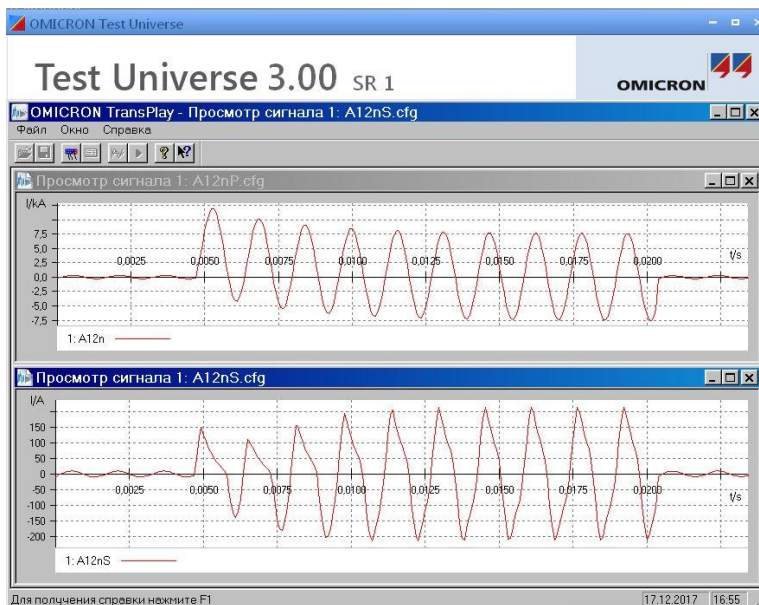


График тока из COMTRADE-файла

Оценка уровня перенапряжений во вторичных цепях

Дерюгина Е. А., Глушко В. И.

Белорусский национальный технический университет

Для оценки максимального уровня перенапряжений рассматривается случай, когда общестанционный пункт управления (ОПУ) расположен вблизи длины сближения $l_{пв}$, что позволяет не учитывать затухание падающей волны грозового импульса по длине вторичной цепи. В ОПУ жила кабеля вторичных цепей заземляется на сопротивление нагрузки $z_{н}$. При распространении по кабелю падающая волна отражается от нагрузки, в результате чего на нагрузке появляется напряжение перенапряжений $u(t)_{пер}$, которое рассматривается как импульсная помеха для УРЗА и равно:

$$u(t)_{пер} = 0,4 \frac{U_m}{z_{вш}} \delta u(\tau_{\phi}) l_{пв} \alpha_{сш}, \quad (1)$$

где U_m – амплитуда начального напряжения; $z_{вш}$ – волновое сопротивление шин; $\delta u(\tau_{\phi})$ – импульс магнитного влияния первичных цепей на вторичные цепи при распространении по шинам грозового импульса напряжения; τ_{ϕ} – длина фронта грозового импульса напряжения; $\alpha_{сш} = 1/(1 + z_{вк}/R_{зк})$ – коэффициент снижения перенапряжений; $z_{вк}$ – волновое сопротивление кабеля; $R_{зк}$ – активное сопротивление, на которое заземлены вторичные цепи.

При $R_{зк} = z_{вк}$ решение (1) принимает вид

$$u(t)_{пер} = 0,2 \frac{U_m}{z_{вш}} \delta u(\tau_{\phi}) l_{пв}. \quad (2)$$

Заземление вторичных цепей на активное сопротивление $R_{зк}$ можно осуществить путем выполнения заземляющего устройства в ОПУ из системы глубинных составных вертикальных заземлителей.

Решения (1) и (2) по уровню перенапряжений определяют:

- 1) при $z_{н} > z_{вк}$ и $R_{зк} > z_{вк}$ – предельно повышенный уровень перенапряжений, который на практике может не рассматриваться;
- 2) при $z_{н} < z_{вк}$ и $R_{зк} < z_{вк}$ – повышенный уровень перенапряжений, который соответствует решению (1);
- 3) при $z_{н} = z_{вк}$ и $R_{зк} = z_{вк}$ – средний повышенный уровень перенапряжений, который соответствует решению (2).

Новые технические решения для повышения электродинамической стойкости электроустановок с гибкими проводниками

Пономаренко Е. Г., Климкович П. И.

Белорусский национальный технический университет

Увеличение генерирующих мощностей в энергосистеме Республики Беларусь неизбежно ведет к росту токов короткого замыкания, а соответственно возрастает и тяжесть электродинамического воздействия на гибкие проводники электроустановок и их несущие элементы. Возникает риск недопустимого сближения проводников, а также нарушения механической прочности опорных и изолирующих элементов. В этой связи традиционных технических решений для повышения электродинамической стойкости, таких как увеличение междуфазного расстояния или усиления изолирующих элементов, может оказаться недостаточно. Поэтому актуальной задачей является поиск новых технических решений, позволяющих обеспечить максимальную надежность электроснабжения с минимальными материальными затратами.

Одним из инновационных технических решений, позволяющих повысить электродинамическую стойкость пролетов с гибкими проводниками, является установка междуфазных изолирующих распорок. Междуфазные распорки препятствуют сближению проводников разных фаз друг с другом. Тем самым значительно уменьшается риск недопустимого сближения проводников, а из-за ограничения колебаний проводов уменьшаются и пиковые значения их тяжений.

Еще один эффективный инновационный инструмент для ограничения тяжений – это демпфер тяжений. Как показывают предыдущие исследования авторов, демпфер эффективен при установке в коротких пролетах с гибкими проводниками, характерных для открытых распределительных устройств.

Применение вышеуказанных технических устройств должно существенно повысить электродинамическую стойкость пролетов с гибкими проводниками. Однако в настоящее время не существует методов расчета подобных элементов, позволяющих оценить их влияние на параметры электродинамической стойкости. Поэтому авторами был модифицирован век-торно-параметрический метод расчета электродинамической стойкости гибких токоведущих частей с учетом демпферов тяжений и междуфазных изолирующих распорок. На его основе была составлена компьютерная программа, достоверность результатов которой подтверждена опытными данными.

О некоторых аспектах повышения эффективности самостоятельного выполнения курсовых и дипломных проектов

Булат В. А.

Белорусский национальный технический университет

Использование в процессе обучения компьютеров и компьютерных технологий имеет свои как положительные, так и отрицательные стороны.

С одной стороны обучающиеся могут более эффективно использовать компьютеры и специальные программные продукты для выполнения курсовых и дипломных работ и проектов. При этом они обучаются умению работать в различных средах, овладевают разного рода программными средствами. Все это способствует более эффективному усвоению учебных дисциплин.

С другой стороны, это привело к существенному увеличению количества желающих использовать компьютеры для массового нелегального бизнеса, такого как выполнение курсовых работ и проектов под заказ, как правило, для обучающихся по заочной форме получения образования. Такая услуга особенно распространена, когда тематика учебных проектов и работ типовая. Опыт показывает, что качество выполненных курсовых и дипломных проектов зачастую очень низкое, так как лица, которые берутся за выполнение подобных работ, желая быстро и хорошо заработать, делают их с помощью компьютеров под копирку, даже не меняя поясняющий текст.

Однако, несмотря ни на что, эта услуга пользуется большой популярностью среди студентов-заочников. Естественно, что от этого страдает как качество получения знаний, так и бюджет студентов.

Какие меры можно и нужно предпринять, чтобы, несмотря на ограниченный объем времени на домашнее выполнение расчетных работ стимулировать студентов-заочников самостоятельному их выполнению?

Предлагаю: разнообразить тематику расчетных работ с более подробной проработкой специальных вопросов; обеспечить on line консультации; при написании учебно-методических пособий по выполнению курсовых и дипломных проектов включить в них больше разнообразных примеров и типовых расчетов; ввести систему поощрительных баллов за самостоятельное выполнение курсовых работ и проектов.

Думается, что предлагаемые мероприятия позволят значительной части студентов отказаться от коммерческих услуг лиц сомнительной квалификации, что в конечном итоге приведет к повышению активизации самостоятельного выполнения курсовых работ и дипломных проектов.

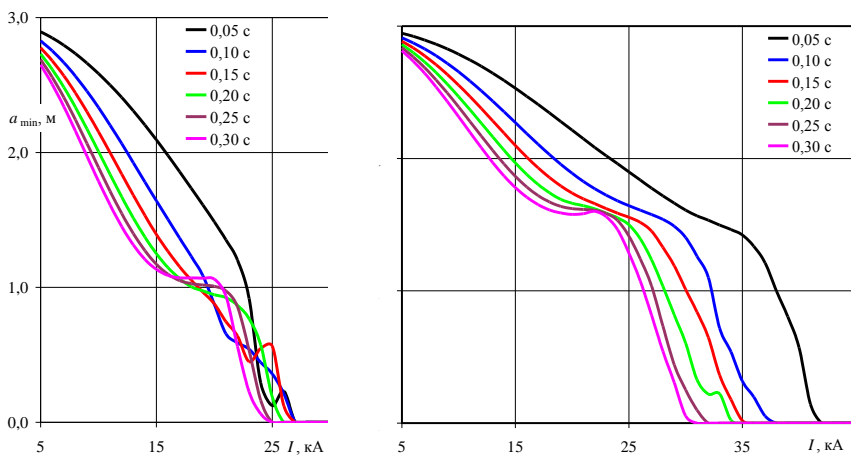
Влияние продолжительности короткого замыкания на параметры электродинамической стойкости гибких проводов

Баран А. Г.

Белорусский национальный технический университет

Тяжесть электродинамического воздействия токов короткого замыкания (КЗ) на гибкие провода определяется величиной импульса ЭДУ, прямо пропорционального продолжительности КЗ. С помощью компьютерной программы FleBus проведен вычислительный эксперимент по оценке влияния продолжительности короткого замыкания на параметры электродинамической стойкости гибкой ошиновки шинного пролета распределительных устройств 110 кВ. Выполнены расчеты для пролета без отпаек длиной 27 м с одним проводом в фазе АС-150/19, АС-185/25, АС-240/32, АС-300/39, АС-400/51, АС-500/27, АС-500/64, а также с расщепленной фазой с проводами 2хАС-300/39, 2хАС-400/51, 2хАС-500/27, 2хАС-500/64. Параметры конструктивных элементов распределительного устройства приняты по типовому проекту 407-03-539.90 «Открытые распределительные устройства 110 кВ на унифицированных конструкциях».

Для упомянутых проводов построены семейства зависимостей минимального расстояния между фазными проводниками от тока двухфазного КЗ при различной продолжительности КЗ. На рисунке представлены данные зависимости для проводов АС-300/39 (слева) и 2хАС-300/39 (справа).



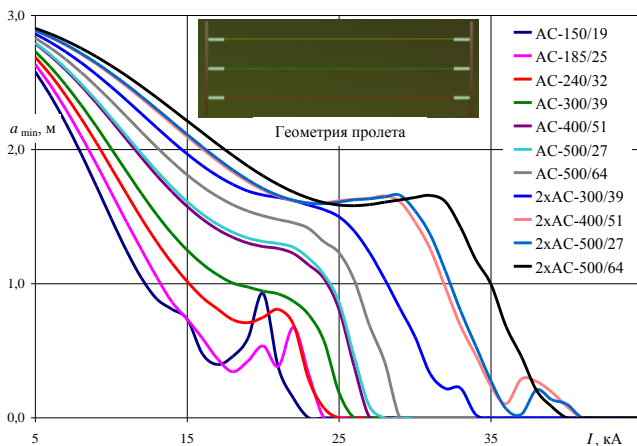
Зависимости $a_{\min} = f(I)$ для различной продолжительности КЗ

Определение токов электродинамической стойкости гибкой ошиновки шинных пролетов типовых конструкций распределительных устройств без учета влияния отпаек

Баран А. Г., Васильева А. А.

Белорусский национальный технический университет

Электродинамическое воздействие токов короткого замыкания (КЗ) является ключевым фактором, влияющим на выбор геометрических размеров и механической прочности токоведущих конструкций с гибкими проводниками. С помощью компьютерной программы FleBus выполнен вычислительный эксперимент по оценке параметров электродинамической стойкости гибкой ошиновки шинных пролетов типовых конструкций распределительных устройств 110 кВ длиной 27 м без отпаек к электрическим аппаратам с одним и двумя проводниками в фазе различного сечения (рисунок). Конструктивные параметры пролета приняты из типовых материалов для проектирования 407-03-539.90 «Открытые распределительные устройства 110 кВ на унифицированных конструкциях». Построены семейства зависимостей минимального расстояния между фазными проводниками соседних фаз от тока двухфазного КЗ для различных сечений проводов. Согласно ПУЭ минимально допустимое междуфазное расстояние для распределительных устройств 110 кВ составляет 0,45 м. Анализ результатов показывает, что электродинамическая стойкость пролета с проводом АС-150/19 нарушается при токе КЗ более 16 кА, а для 2хАС-500/64 – более 32 кА.



Зависимости $a_{\min} = f(I)$ для различной сечений проводов ($t_{КЗ} = 0,2$ с)

Исследование электродинамической стойкости ошиновки комплектных распределительных устройств 10 кВ

Алехнович А. С.

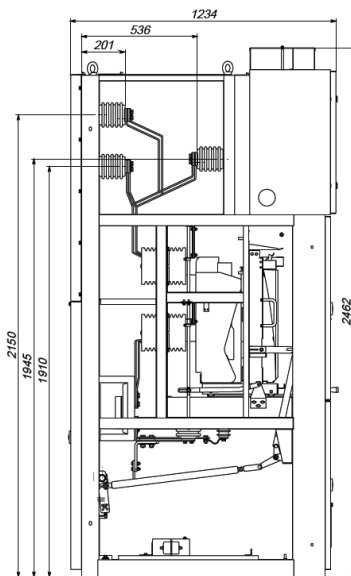
Белорусский национальный технический университет

При эксплуатации комплектных распределительных устройств 10 кВ существуют основные проблемы, позволяющие определить степень их разработки на текущем этапе, пути и методологию решения:

1. Необходимость компактного расположения токоведущих частей с целью экономии пространства и расходов на производство.
2. Необходимость поиска методологии, позволяющей максимально повысить электродинамическую стойкость токоведущих частей.
3. Проблема эффективности применения существующих решений повышения электродинамической стойкости ошиновки;
4. Задача внедрения и последующего применения разработанных методов в реальных конструкторских решениях.

Работа направлена на исследование электродинамической стойкости ошиновки комплектных распределительных устройств КРУ-БЭМН с целью повышения их надежности и безопасности эксплуатации. Основные геометрические размеры шкафа КРУ приведены на рисунке. Номинальный ток сборных шин составляет 1250 А. Стоит задача проверки электродинамической стойкости ошиновки КРУ при токе КЗ равном 51 кА.

Сборные шины расположены в вершинах произвольного треугольника и пропускаются в соседнюю ячейку через проходные изоляторы и через специальные резиновые вкладыши, допускающие прогибы шин во всех направлениях. Шины жестко закреплены на медных стержнях-надставках в двух соседних камерах и образуют многопролетную шинную конструкцию с неразрезными шинами. Расчетной схемой для них является балка с жестким опиранием на обоих опорах пролета.



Геометрические параметры КРУ

УДК 621.316.99

Анализ крутильной стабильности расщепленных фаз

Потащиц Я. В.

Белорусский национальный технический университет

Применение в энергосистеме инновационных конструкций проводов требует проведения исследований их поведения в неблагоприятных климатических условиях при воздействии ветра, гололеда и электродинамических усилий при коротком замыкании. Для расщепленных фаз воздушных линий электропередачи актуальной проблемой является их закручивание при наличии односторонних гололедных отложений, являющихся причиной пляски проводов с большими амплитудами, при которых возможно схлестывание соседних фаз и возникновение коротких замыканий.

Для анализа таких колебаний использована расчетная модель провода с сосредоточенными моментами заданной величины и времени действия, прикладываемые на распорки в начальный момент времени.

В такой схеме провода скручиваются распорками, поэтому нет необходимости учитывать внешние распределенные моменты, действующие по длине проводов фазы. Следовательно, задача сводится к исследованию свободных поступательно-крутильных колебаний фазы в схеме с неравномерной в общем случае установкой распорок-демпферов.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ для решения этой задачи были разработаны методы расчета крутильных колебаний проводов при указанных видах воздействий.

Вопыт выкарыстання праграмы ТК315

Бобка М. М.

Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт

На кафедры «Электрычныя станцыі» распрацавана праграма ТК315 для разліку токаў кароткага замыкання пры пры выкананні студэнтамі электратэхнічных спецыяльнасцей курсавых і дыпломных праектаў. Праграма дазваляе выконваць разлік токаў кароткага замыкання у вузлах схемы замяшчэння і размеркаванне сіметрычных складовых токаў па галінах схемы. Пабудова схем замяшчэння розных паслядоўнасцей і падрыхтоўка файла ўваходных дадзеных з параметрамі гэтых схем выконваецца студэнтам.

Выкарыстанне праграмы ТК315 пры праектаванні ступеневых рэлейных засцярог паказала, што на падрыхтоўку файлаў уваходных дадзеных затрачваецца значны час. Таксама пры ручным спосабе падрыхтоўкі файлаў уваходных дадзеных дапускаецца многа памылак. Напрыклад, пры разліку ўставак токавай накіраванай засцярогі ў рэальнай кальцавой схеме з 2–3 крыніцамі электраэнергіі пры ўліку ўсіх магчымых рэжымаў неабходна падрыхтаваць і разлічыць па праграме да 40 рэжымаў работы такой схемы.

Выйсцем з такога становішча з'яўляецца распрацоўка графічнага інтэрфейсу да праграмы, які забяспечыць пабулову разліковай схемы энергасістэмы на экране кампутара. Пры гэтым элементы схемы (генератары, трансфарматыры, лініі электраперадачы) будуць задавацца на разліковай схеме сваімі пазіцыйнымі абазначэннямі. Параметры элементаў павінны захоўвацца ў адпаведнай базе дадзеных і выбірацца з базы дадзеных па сваіх пазіцыйных абазначэннях. Схемы замяшчэння прамой, адваротнай і нулявой паслядоўнасцей будуць будавацца самой кампутарнай праграмай. Такі падыход забяспечыць больш зручнае карыстанне праграмай, меншыя затраты часу і меншую колькасць памылак ва ўваходных дадзеных.

Моделирование трехфазных сетей с фильтрами высших гармоник

Новаш И. В., Ерема В. В.

Белорусский национальный технический университет

Компьютерные системы динамического моделирования (СДМ), такие как MatLab, позволяют исследовать режимы трехфазных сетей, проводя вычислительный эксперимент в среде самой СДМ. При этом используются модели, имеющиеся в библиотеке моделирующей системы, а уравнения моделей, формируются и решаются автоматически [1].

Недостатком такого моделирования является либо отсутствие в библиотеке СДМ стандартных модулей, необходимых для построения модели реального устройства, либо упрощенное представление объекта библиотечным модулем.

В работе проводится исследование режимов трехфазных сетей с фильтрами высших гармоник методом вычислительного эксперимента в СДМ MatLab. Разработка моделей фильтров высших гармоник выполняется с помощью блоков библиотеки Simulink. Построение модели исследуемой трехфазной сети совместно с моделями фильтров осуществляется с использованием стандартных блоков библиотеки SimPowerSystems. Сочетание моделей, построенных на базе блоков библиотеки Simulink, с использованием блоков SimPowerSystems, а также функций самого MatLab, дает практически неограниченные возможности для моделирования электро-технических систем.

Разработка компьютерной программы для определения наиболее эффективных режимов работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками

Иванейчик А. В.

Гомельский государственный технический университет П. О. Сухого

Для моделирования и оперативного выбора наиболее эффективных режимов работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками при многоставочных тарифах на электроэнергию, предлагается создание компьютерной программы.

Основными действиями программы являются:

Ввод исходных данных.

- ввод параметров расходных характеристик в зависимости от производственных факторов, формирование базы данных;
- установка тарифных зон (пиковая, ночная, полупиковая);
- ввод действующих тарифных коэффициентов, при различных тарифах на электроэнергию.

Ввод ограничений:

- особенности работы оборудования (время производственного цикла, производительность и т. д.);
- учет факторов, влияющих на расходные характеристики технологического оборудования;
- выбор тарифа на электроэнергию;
- учет граничных диапазонов производительности оборудования за сутки.

Выбор критериев оптимизации:

- определение наиболее эффективного режима работы оборудования при заданном объеме производства за сутки по критериям: минимума энергозатрат либо минимума расхода электрической энергии;
- определение максимально возможного объема выпуска продукции при заданном расходе электроэнергии либо заданных затратах на покупку электроэнергии;
- определение наиболее эффективных, с точки зрения электропотребления либо денежных затрат, режимов производства продукции;
- выбор оптимального тарифа на электроэнергию при заданном объеме производства за сутки.

Вывод результатов:

- табличная форма;
- графическая форма, в виде графика электрических нагрузок.

Исследование времени передачи GOOSE-сообщений

Ломан М. С.

ОАО «Белэлектромонтажналадка»

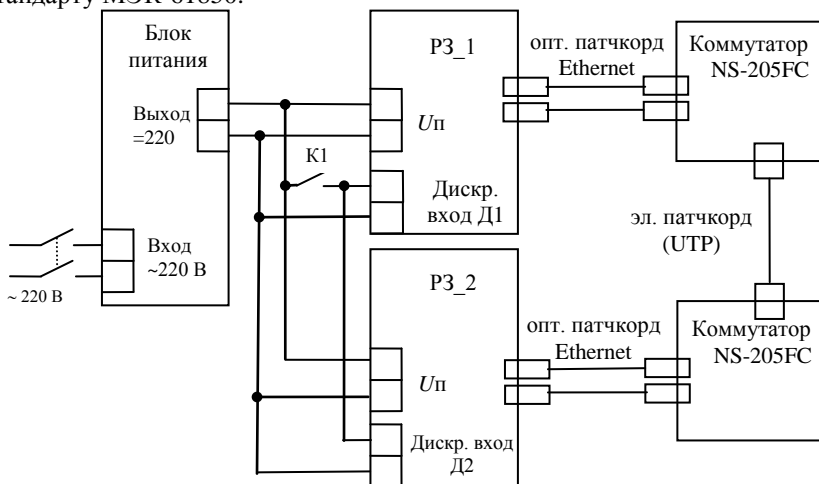
Устройства релейной защиты (РЗ), поддерживающие передачу GOOSE-сообщений, для соответствия требованиям стандарта МЭК 61850-10 должны обеспечивать время передачи не более 10 мс (класс P1).

Целью работы является проверка времени передачи GOOSE-сообщений терминалами серии МР76х.

Объект исследования выступает система передачи сигналов РЗ посредством GOOSE-сообщений, построенная на базе терминалов серии МР76х (ОАО «Белэлектромонтажналадка») и REG670 (ABB).

Исследование выполнено на физической модели локальной вычислительной сети подстанции. Испытательная схема представлена на рисунке. На проверяемые терминалы замыканием ключа К1 подавался дискретный сигнал, по его появлению терминал РЗ_1 публиковал GOOSE-сообщение. Терминал РЗ_2 фиксировал на встроенном осциллографе время появления дискретного сигнала и время получения GOOSE-сообщения.

Время передачи GOOSE-сообщения между терминалами МР76х составило 2–9 мс. Время передачи GOOSE-сообщений между терминалами МР76х и REG670 – 8–10 мс. Полученные результаты показывают, что устройства МР76х соответствуют классу P1 передачи GOOSE-сообщений по стандарту МЭК-61850.



Критерии крутильной стабильности расщепленной фазы

Потащиц Я. В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе постановки краевой задачи динамики расщепленной фазы указанные уравнения дополняются начальными и краевыми условиями, выделяющими единственное решение задачи. Выбор конкретной схемы анализа крутильной стабильности определяется заданием начальных и краевых условий.

Критерием крутильной стабильности расщепленной фазы может являться величина угла закручивания провода в каждом из подпролетов. Если эта величина приближается к нулю, то крутильная стабильность в этом подпролете обеспечивается. Таким образом можно проверить все подпролеты расщепленной фазы. При выявлении закрученных проводов необходимо изменить длину подпролета и повторить расчет.

Другим критерием крутильной стабильности может выступать длина подпролета. Важно расставить распорки в пролете таким образом, чтобы не допустить закручивания проводников. Наиболее вероятным является закручивание проводов в ближайшем к опоре подпролете.

Для анализа крутильной стабильности расщепленной фазы была модифицирована компьютерная программа LINEDYS+, в которой реализован численный метод расчета динамики проводов при их произвольном расположении в пространстве.

**Электродинамические усилия в системе
произвольно расположенных в пространстве
проводников, имеющих форму эвольвент окружности
наложенных на поверхность конуса**

Губанович А. Г.

Белорусский национальный технический университет

Проводники лобовой части обмотки статора мощных турбогенераторов имеют сложную пространственную форму и представляют собой развертку (эвольвенту) окружности наложенную на поверхность конуса. Расчет поля и электродинамических усилий (э.д.у.) в такой системе представляет собой довольно сложную задачу.

Для определения индукции и э.д.у. в такой системе проводников предлагается использовать закон Био-Савара-Лапласа и выражения описывающие геометрию криволинейной части лобового проводника в цилиндрических координатах.

Выражения для определения индукции от проводника имеющего форму эвольвенты наложенной на поверхность конуса и э.д.у. на другой такой же формы проводник в декартовой системе координат в конечном виде имеют вид

$$B_{1j} = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{4\pi} \int_{t_{n1}}^{t_{k1}} \frac{\Delta_{1j}}{|r|^3} dt_1, \quad F_{2j} = i_2 \int_{t_{n2}}^{t_{k2}} \Delta_{2j} dt_2,$$

где $j = x, y, z$; $t_{n1}, t_{k1}, t_{n2}, t_{k2}$ – начальный и конечный параметр соответствующих эвольвент; r – радиус-вектор точки, в которой определяется индукция; i_1, i_2 – токи проводников; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; Δ_{1j}, Δ_{2j} – алгебраические дополнения определителей Δ_1 и Δ_2 по соответствующей координате

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} x & y & z \\ n_{1x} & n_{1y} & n_{1z} \\ r_x & r_y & r_z \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} x & y & z \\ n_{2x} & n_{2y} & n_{2z} \\ B_{1x} & B_{1y} & B_{1z} \end{vmatrix},$$

$n_{1x}, n_{1y}, n_{1z}, r_x, r_y, r_z, n_{2x}, n_{2y}, n_{2z}$ представляют собой выражения содержащие геометрические характеристики лобовой дуги обмотки и лобовой части обмотки статора генератора.

Полученные на основе уточненной геометрии лобовых дуг обмотки статора генератора выражения для расчета индукции и э.д.у. позволяют повысить точность расчетов и, в конечном счете, создавать более современные конструкции обмоток генераторов.

Теплоэнергетика

Исследование гибридных энергетических систем в теплоснабжении

Седнин В. А., Зиновенко Д. В., Шкловчик Д. И.

Белорусский национальный технический университет

В любой стране энергетика является базовой отраслью экономики, от состояния и уровня развития которой зависят соответствующие темпы роста других отраслей хозяйства, стабильность их работы и энерговооруженность. Энергетика создает предпосылки для применения новых технологий, обеспечивает наряду с другими факторами современный уровень жизни населения страны. Вместе с тем она оказывает заметное влияние на окружающую среду. Имеют место значительные выбросы теплоты, продуктов сгорания топлива, шумовые воздействия, которые вредно влияют на человека и окружающую природу. Прогресс в теплоэнергетике связывают с решением задач по повышению эффективности, экологичности, снижению материало- и капиталоемкости, повышению маневренности, надежности и эксплуатационных свойств энергетических установок теплогенерирующих объектов.

Системы централизованного теплоснабжения являются необходимой частью инфраструктуры энергетики и жилищно-коммунального комплекса Республики Беларусь. В виду высокой энергетической зависимости энергетики Республики Беларусь от экспорта углеводородного топлива, повышение маневренности и энергетической эффективности таких систем является актуальной проблемой.

За последние десятилетия предложено немало способов по решению этой задачи: ведется модернизация теплоисточников, строится атомная электростанция, проектируются и строятся отопительные котельные и мини-ТЭЦ на местных видах топлива, «зеленая» энергетика получает все большее распространение, внедрение теплонасосных установок при условии их экономической целесообразности. Все данные мероприятия помогают стране увеличить маневренность и уменьшить зависимость от импортируемого топлива. Целью исследования является определение эффективности внедрения гибридных энергетических систем (тепловых насосов) в системы теплоснабжения.

Исследуемая тема соответствует приоритетному направлению научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы: энергетика и энергосбережение. Соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных исследований в Республике Беларусь на 2016–2020 годы: энергообеспечение, энергосбережение, энергоэффективность, энергоэффективные технологии.

Термическая утилизация нефтяного кокса с применением технологии газификации

Кузьмич К. А., Седнин В. А.

Белорусский национальный технический университет

Мировое производство нефтепродуктов достигло уровня 4600 миллионов тонн в год, что обеспечивается работой порядка 750 нефтеперерабатывающих заводов. При этом, потребление бензина и прочих продуктов продолжает расти, что является основной причиной, по которой владельцы заводов должны рассматривать переход на переработку тяжелой нефти, после которой, в свою очередь, остаётся большое количество остатков вакуумной перегонки, составляющих до 40 % от массы сырья. Очевидно, что те предприятия, которые будут способны наиболее полно использовать тяжёлую нефть для получения высококачественного продукта смогут остаться на рынке. В частности, переработка тяжёлой нефти влечёт за собой образование большого количества нефтяного кокса.

С учётом всего вышесказанного, перспективным направлением по эффективной утилизации нефтяного кокса является его газификация.

Газификация представляет собой процесс частичного окисления. В газификации обычно используется около 25–40 % от теоретически необходимого количества окислителя (чистого кислорода или воздуха) для производства достаточного количества тепла для газификации оставшейся не окислённой части топлива. Основными сжигаемыми продуктами газификации являются: оксид углерода и водород, а также малая часть полностью окислённого углерода (диоксида углерода) и воды.

В результате газификации сырья получается синтетический газ (синтезгаз). Синтезгаз также может быть преобразован таким образом, что будет содержать только водород и диоксид углерода путём реакции с паром и осуществления реакции в присутствии катализатора в специальном «водогазовом» реакторе. При сжигании водорода образуются только тепловая энергия и вода, при этом появляется возможность производства электрической энергии без образования диоксида углерода в продуктах сгорания. Более того, водород, полученный из угля или других твёрдых топлив, может использоваться для переработки нефти или для производства таких продуктов, как аммиак и удобрения.

Что не маловажно, синтезгаз, обогащённый водородом, может использоваться для производства бензина и дизельного топлива. Диоксид углерода может быть эффективно удалён из синтезгаза, что предотвращает выбросы парниковых газов в атмосферу.

Утилизация диоксида углерода путем его преобразования в синтетический природный газ

Матявин А. А. Филев А. В., Седнин А. А.

Белорусский национальный технический университет

Ключевую роль при утилизации углекислого газа играет производство водорода, а также пути получения синтетического природного газа. Ниже рассмотрим наименее энергоемкий путь, описав его хим. Реакциями:

$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2$ (подача диоксида углерода от сторонних источников) \rightarrow

$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 + 2\text{H}_2$ (добавляется для протекания реакции) \rightarrow

$2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$ (подается в газотранспортную систему).

Выше описанные реакции могут проводиться либо в химико-технологическом реакторе при повышенной температуре и давлении в присутствии катализатора, либо в биореакторе с применением специальных микроорганизмов. В обоих случаях на выходе получают синтетический газ с содержанием метана около 98 %, что близко к концентрации метана в природном газе, поэтому и получаемый искусственным образом газ получил название синтетический природный газ (СПГ).

Схема получения синтетического природного газа в химико-технологическом реакторе реакцией Сабатье представлена на рисунке ниже.

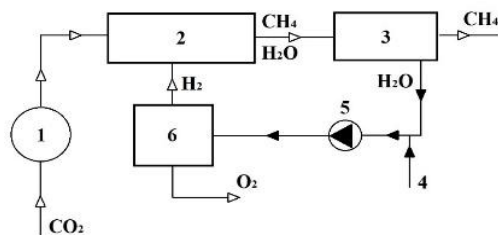


Схема системы получения синтетического метана в химико-технологическом реакторе:

1 – аккумулятор CO_2 ; 2 – реактор; 3 – сепаратор и конденсатор воды; 4 – добавление подпиточной воды; 5 – насос; 6 – электролизер

Очищенный углекислый газ попадает в аккумулятор, служащий буферной емкостью, для нивелирования перепадов производства на реактор. За буферной емкостью располагается сам реактор Сабатье в который помимо углекислого газа подается и водород со степенью чистоты от 70 до 99,99%. Полученный синтетический природный газ поступает в сепаратор для отделения влаги и очищенный газ подается в компрессор и далее в газовую сеть. Влага после сепаратора насосом возвращается в электролизер, в котором и получаем необходимый для реакции Сабатье водород.

Применение нейронных сетей для планирования и распределения тепловой нагрузки котельной

Власюк Д. И., Прокопеня И. Н.

Белорусский национальный технический университет

На данный момент работу по управлению энергосистемой выполняют диспетчера, которые основываясь на своем опыте (прецедентах из прошлого) и данных о погодных условиях, управляют энергоисточниками. В случае отопительных котельных основным критерием является температура наружного воздуха, в зависимости от которой устанавливается температурный график тепловой сети. На котельных с установленной системой автоматизации данную функцию оператора выполняет стандартный планировщик тепловой нагрузки котельной, по которому в режиме реального времени (согласно тепловому графику) изменяется температура прямой сетевой воды.

Для того чтобы увеличить точность прогноза стандартного планировщика, можно усовершенствовать стандартный планировщик за счет:

- учета дополнительных погодных условий для более точного определения требуемой тепловой нагрузки.
- использование параметров тепловой сети за последние 4 часа с целью учета инертности тепловой сети.
- использование данных по прогнозу погоды для построения краткосрочных прогнозов по тепловой нагрузке.
- доработки функционала планировщика с целью создания рекомендаций по распределению тепловой нагрузки по котлоагрегатам на основе прогноза по требуемой тепловой нагрузке.

Данные задачи по доработке планировщика можно выполнить за счет **использования искусственных нейронных сетей (ИНС)**. ИНС «обучается» на архивных данных о погодных условиях и параметрах тепловой сети, самостоятельно формируя зависимости необходимые для работы планировщика. Использование нового планировщика приведет к:

1. Более равномерному распределению тепловой нагрузки между котлоагрегатами. Снижение износа оборудования.
2. Более экономичная работа котельной в целом, за счет того оптимальной загрузки котлоагрегатов.
3. Упрощение работы оператора – проще принимать решение о введении в строй новых мощностей.
4. Повышение комфорта отопления в помещениях, за счет учета в алгоритме управления, сигналов обратной связи от потребителя.

Позднякова М. И.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь импортирует более 80 % энергоресурсов, их значительная часть расходуется на отопление и горячее водоснабжение жилищного фонда. В виду высокой энергетической зависимости энергетики Республики Беларусь от экспорта углеводородного топлива повышение маневренности и энергетической эффективности таких систем является актуальной проблемой. Исследования и разработки, направленные на снижение энергопотребления жилищным фондом страны имеют исключительное значение для экономики Беларуси. Важнейшим направлением, позволяющим снизить энергопотребление зданий, является применение энергосберегающих систем отопления и горячего водоснабжения, рациональных схем энергосбережения зданий с учетом их расположения относительно источников тепловой энергии и горячего водоснабжения. За последние десятилетия предложено немало способов по решению этой задачи: ведется модернизация теплоисточников, строится атомная электростанция, проектируются и строятся отопительные котельные и мини-ТЭЦ на местных видах топлива. Все данные мероприятия помогают стране увеличить маневренность и уменьшить зависимость от импортного топлива.

Повышение энергетической и экологической эффективности систем теплоснабжения является проблемой мирового значения, для решения которой на современном этапе развития техносферы требуется применение новых, прогрессивных технологий. Согласно Концепции развития теплоснабжения в Республике Беларусь, необходимо принять меры по оптимизации размещения теплоисточников в зоне функционирования системы теплоснабжения, а также по оптимизации состава их основного оборудования и по режимной оптимизации (распределение тепловых нагрузок между теплоисточниками).

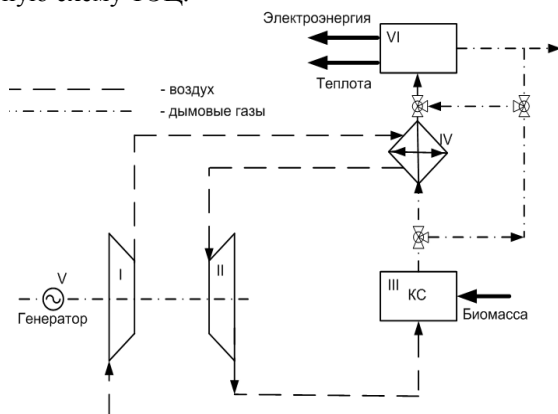
Таким образом, с одной стороны, системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) являются наиболее перспективным видом теплоснабжения, а с другой стороны – существующие на сегодняшний день в странах с переходной экономикой СЦТ в значительной мере исчерпали свой ресурс работы и не соответствуют современным требованиям и тенденциям. Поэтому проблема энергоэффективной модернизации рассматриваемых систем чрезвычайно актуальна с практической точки зрения.

Комбинированная энергетическая установка малой мощности на местных видах топлива в условиях работы

Мясникович В. В.

Белорусский национальный технический университет

Важным техническим критерием работы исследуемой энергоустановки является ее маневренность в условиях ввода в энергосистему Белорусской АЭС. Для повышения маневренности дополняем схему байпасными линиями рисунок. Энергоустановка способна подстраиваться под существующий режим энергосистемы за счет перераспределения потока дымовых газов, выходящих из камеры сгорания III, и его направления мимо высокотемпературного воздухоподогревателя IV. Газотурбинная установка при этом отключается, камера сгорания III и утилизационный блок VI работают как котельная установка на биомассе. Данная схема напоминает сбросную схему ТЭЦ.



Принципиальная схема комбинированной энергетической установки с байпасными линиями

Применение сбросных схем в условиях ТЭЦ позволяет изменять генерацию электроэнергии при сохранении тепловой мощности энергоустановки. Это важно для белорусской энергосистемы после ввода Белорусской АЭС, так как позволит сглаживать колебания нагрузки энергосистемы Беларуси.

Работа исследуемой энергетической установки с учетом байпасной

обвязки возможна в разных режимах: с закрытым байпасом, номинальная мощность; с частично открытым байпасом воздухоподогревателя; полностью открытым байпасом воздухоподогревателя. Учитывая разные режимы, газовая турбина может работать на полную мощность, быть частично разгружена или полностью отключена.

Обработка и анализ результатов исследования аэродинамики и теплообмена в непроходных каналах теплотрасс

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет

Представлены результаты обработки и анализа данных по исследованию аэродинамики и теплоотдачи от стенок канала, а также поверхности трубопроводов сетевой воды к продуваемому потоку воздуха на стандартных профилях теплотрасс, полученных с помощью программного комплекса ANSYS Workbench, пакета ANSYS Fluent – полноценного CFD – пакета, в состав которого входят пре- и постпроцессоры, решатель и отдельный сеточный генератор ANSYS Meshing.

На базе указанного программного комплекса разработана 3D-модель установки, рабочая область которой дискретизирована с размером конечных элементов сетки, достаточным для учета влияния пограничного слоя.

Установка разработана для проведения исследований в соответствии с методикой планирования эксперимента на основе шестифакторного центрального композиционного ротatableльного плана второго порядка. В качестве факторов приняты: x_1 – длина продуваемого (20–100 м) и поперечное сечение канала (эквивалентный диаметр 94–430 мм), скорость потока воздуха (5–20 м/с), температуры сетевой воды (65–115 °С), грунта (-5–13 °С) и наружного воздуха.

В качестве откликов приняты интегральный поток теплоты к воздуху, а также от сетевой воды и от грунта, потери напора воздуха. Использовалась методика регрессионного анализа для обработки результатов вычислительного эксперимента. Проведены все этапы регрессионного анализа: статистический анализ, получение коэффициентов регрессии, оценка адекватности и работоспособности полученной математической модели. Для расчета суммарного потока теплоты к воздуху (кВт/(м²·°С) уравнение регрессии для безразмерных факторов:

$$y_1 = 22,1 + 6,0x_1 + 4,86x_2 + 0,52x_3 - 0,156x_3^2 + 0,66x_4 + 0,69x_5 - 0,316x_6 + 1,32x_1x_2 + 1,87x_1x_5 + 0,204x_2x_4 + 1,30x_2x_5.$$

По критерию Фишера проверяется адекватность регрессионной модели. Расчетное значение критерия $F_p = 367,45$ больше $F_t = 1,66$, что означает адекватность уравнения регрессии. Коэффициент детерминации для данной модели равен $R^2 = 0,99794$, что означает работоспособность модели.

УДК 534.2

Влияние «быстрого» механизма на образование оксидов азота в камерах сгорания реверсивного двухходового котла

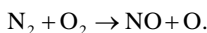
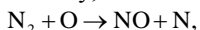
Ярмольчик Ю. П.

Белорусский национальный технический университет

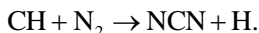
С вступлением в действие в Республике Беларусь с 1 октября 2017 г. экологических норм и правил ЭкоНиП 17.01.06-001–2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности», остро стал вопрос прежде всего для проектируемых котельных установок, нормы выбросов для которых значительно ужесточаются особенно для вводимых в эксплуатацию с 1 января 2019 г.

В связи с этим для производителей котлов ставится задача оптимального конструирования вновь изготавливаемых установок, а для проектных организаций – качественный выбор предлагаемого на рынке оборудования. Сложность решения поставленной задачи обусловлена прежде всего тем, что производители горелочных устройств однозначно определяют эмиссионный класс своих изделий, исходя из замеренных значений при сжигании соответствующих видов топлива в прямоточных топках с низким аэродинамическим сопротивлением. На рынке же отопительных и промышленных котлов в настоящее время предлагаются в основном котлы с двухходовыми реверсивными камерами сгорания.

Известно, что оксид азота образуется в основном в зоне высоких температур $\sim 1850^\circ\text{C}$ по, так называемому, «механизму Зельдовича»:



Однако, экспериментально измеренные концентрации NO_x в уходящих газах превышают рассчитанные по механизму Зельдовича. Объяснение дополнительного механизма образования оксидов азота связано с наличием в начальной зоне горения радикала CH , который реагирует с молекулярным азотом:



В связи с протеканием в начальной зоне горения, эти реакции называют «быстрым механизмом». При этом NO образовывается из NCN в ряде последующих реакций с участием различных радикалов.

В результате исследований было определено, что в реверсивных камерах сгорания «быстрый механизм» имеет существенную роль, и его необходимо учитывать при расчете общего количества оксидов азота в уходящих газах даже при применении горелочных устройств 3-его эмиссионного класса – типа Low- NO_x .

Лимитирование объемной нагрузки камеры сгорания по нормам выбросов оксидов азота

Ярмольчик Ю. П., Ярмольчик М. А.

Белорусский национальный технический университет

Объемная нагрузка камеры сгорания n_V рассчитывается как отношение мощности горелки N_b (МВт) к рабочему объему топки V_{bt} (м^3). Рабочий объем рассчитывается: для реверсивных двухходовых котлов – по диаметру топки, для проходных топок трехходовых котлов – по среднему диаметру гофрированной жаровой трубы:

$$n_V = \frac{N_b}{V_{bt}}$$

Так как усредненный свободный пробег молекул дымовых газов в высокотемпературной зоне зависит от объема «свободной» зоны, т. е. пространства между организованным горелкой факелом и внутренними стенками камеры сгорания, то и вероятность соударений свободных молекул азота и кислорода будет зависеть от этого значения. Если подобные соударения происходят в зоне высоких температур $\sim 1850^\circ\text{C}$, то вероятность образования монооксида азота по тепловому механизму Зельдовича значительно увеличивается. Несомненно, однозначные зависимости конечных значений концентрации NO_x от объемной нагрузки камеры сгорания без учета конструкции горелки рассчитать невозможно, однако, качественные предельные значения можно определить.

В результате проведенных замеров концентрации NO_x в уходящих газах при содержании O_2 в выбросах $\sim 3\%$. при сжигании природного газа в котлах разных производителей с близкой номинальной тепловой нагрузкой (максимальной мощностью горелки) 0,7–0,9 МВт с различными значениями объемной нагрузки были определены следующие эмпирические значения: при $n_V = 0,8\text{--}0,9 \text{ МВт/м}^3$ для трехходовых котлов концентрация NO_x фактически равнялась концентрации, заявленной производителями горелок эмиссионным классом: 1-й – $\leq 170 \text{ мг/кВт.ч}$; 2-й – $\leq 120 \text{ мг/кВт.ч}$; 3-й – $\leq 80 \text{ мг/кВт.ч}$. Для реверсивных двухходовых котлов значения были несколько выше – на 5–8%, но для горелок стандартного исполнения (2-го эмиссионного класса) вполне соответствовали нормированным значениям по ЭкоНиП–2017. При увеличении объемной нагрузки – уже при значении $n_V = 1,2\text{--}1,5 \text{ МВт/м}^3$ для трехходовых котлов и $n_V = 1,0\text{--}1,2 \text{ МВт/м}^3$ – для двухходовых, – концентрация NO_x превышало норму и, следовательно, для таких котлов уже требуется установка горелочных устройств 3-го эмиссионного класса – типа Low- NO_x .

**Создание имитационной модели энергетической системы Беларуси
с помощью программы EnergyPLAN для внедрения ВИЭ**

Муслина Д. Б., Петровская Т. А.

Белорусский национальный технический университет

Цель белорусской энергетики заключается в диверсификации структуры топливного баланса страны путем сокращения доли природного газа до 50 % к 2030 году по сравнению с нынешним уровнем 63 %. Таким образом, зависимость от внешних энергетических рынков будет снижаться. Строительство АЭС позволит разнообразить структуру топливного баланса страны. Сочетание постоянно растущего спроса на топливно-энергетические ресурсы, увеличивающиеся цены топливо, высокая зависимость от внешних энергетических рынков и необходимость обеспечения энергетической безопасности в дополнение к внедрению АЭС привели к стремлению Беларуси развивать ВИЭ.

В настоящее время Беларусь находится в высокой зависимости от природного газа, который занимает порядка 63 % в структуре топливного баланса страны и порядка 90 % в структуре производства электроэнергии. Несмотря на то, что доля ВИЭ в топливном балансе страны составляет порядка 6 %, ее доля в производстве электроэнергии пренебрежимо мала, порядка 1 %. В последнем обновлении энергетической и экологической политики Республики Беларусь подчеркивается, что потребление ископаемого топлива должно быть уменьшено с вводом в эксплуатацию ядерной, ветровой, гидро- и биоэнергетики. Кроме того, согласно Национальной программе развития местных и возобновляемых источников энергии, доля местных источников энергии в балансе первичной энергии должна быть не менее 32–34% к 2020 году, где биомасса, биогаз, ветер, солнечная энергия и гидроэнергетика должны играть основную роль. Анализ литературных источников показал, что различных работах была произведена оценка потенциала ВИЭ в Беларуси и ее интеграции в национальные и региональные энергетические системы, а также роль АЭС в энергосистеме Беларуси. Однако ни одна из работ не была направлена на воссоздание всех основных источников энергии в единой модели, способной имитировать интерактивный режим работы энергосистемы в соответствии с различными стратегиями регулирования. В связи с этим целью этой работы и являлась разработка такой модели для оценки экономической целесообразности увеличения использования ВИЭ в энергосистеме Республики Беларусь с учетом внедрения АЭС в 2018–2020 годах. Метод исследования включал создание эталонной модели и альтернативных сценариев интеграции ВИЭ.

Оптимальные условия термообработки как фактор формирования рациональной теплоэнергетической системы предприятий железобетонных изделий

Нияковский А. М.

Полоцкий государственный университет

Снижения затрат тепловой энергии является одним из факторов, формирования рациональной теплоэнергетической системы на предприятиях строительной индустрии. В качестве одного из направлений, обеспечивающих такое снижение, можно указать совершенствование режимов тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий.

Основной проблемой при расчёте любого режима тепловой обработки бетона является определение температурного поля изделий с учётом теплового воздействия на бетон, взаимодействия с внешней средой и внутренних экзотермических тепловыделений. Эти данные позволяют установить энергетически оптимальные условия термообработки бетона и сформулировать задачу автоматического управления процессом термообработки путём поддержания заданных законов изменения во времени температуры греющей среды.

Расчёт теплопроводности в твердеющем бетоне осложнён экзотермическими реакциями гидратации цемента, причём тепловыделения в бетоне являются функцией температуры и времени и оказывают существенное влияние на формирование температурного поля в изделиях.

На основании анализа закономерностей процессов теплообмена в бетоне при тепловом воздействии на него, сформулирована математическая модель процесса термообработки на основе дифференциального уравнения теплопроводности с внутренним источником теплоты и граничными условиями, характеризующими внешнее тепловое воздействие на твердеющий бетон. Используя решение поставленной задачи проведены расчёты температурных полей обрабатываемых изделий различной толщины и установлено время, после которого температуры поверхности изделий начинают превышать значения температуры греющей среды и дальнейший нагрев изделий можно проводить за счёт интенсивности внутренних тепловыделений, прекратив подачу теплоносителя в камеру тепловой обработки, что позволяет существенно уменьшить расход теплоты на термообработку бетонных изделий и тем самым оптимизировать структуру теплового потребления заводов железобетонных изделий

Применение парогазовой установки по сбросной схеме на ТЭЦ энергосистемы Беларуси

Романюк В. Н., Бобич А. А.

Белорусский национальный технический университет

Современным направлением технического перевооружения паротурбинных ТЭЦ является переход к парогазовой технологии (ПГУ).

Основными схемами парогазовых установок на ТЭЦ являются параллельные и сбросные. Традиционно считалось, что наибольшую энергетическую и экономическую эффективность обеспечивают параллельные схемы, которые и получили широкое распространение в энергетике. Однако на ТЭЦ, не допускающих перерыва в пароснабжении потребителей, требуется содержать в работе одновременно несколько паровых котлоагрегатов (ПКА), что ухудшает показатели экономичности ТЭЦ. Для устранения потери эффективности ТЭЦ с категорируемыми потребителями пара целесообразно применение новой структурной схемы ТЭЦ, связанной с интеграцией ПГУ по сбросной схеме с ПКА. При этом предлагается использование комплексов, состоящих из одной газотурбинной установки (ГТУ) и двух ПКА (основной и резервной). Решение обеспечивает увеличение числа часов работы ГТУ за счет возможности замещения одного котла другим. Мощность ГТУ, ограничиваемая пропускной способностью аэродинамического тракта ПКА, в условиях ТЭЦ энергосистемы Беларуси находится в диапазоне 25–45 МВт. Количество параллельно работающих ПКА определяется тепловой нагрузкой ТЭЦ, при этом рассматривается их работа на техническом минимуме, что обеспечивает и максимальное вытеснение прямого сжигания природного газа на ТЭЦ, и возможность изменения генерации электроэнергии в диапазоне 25–50 % от текущей мощности ТЭЦ при сохранении тепловых нагрузок и надежности пароснабжения категорируемых потребителей, что важно при вводе Белорусской АЭС. Газотурбинные установки этой мощности менее требовательны к режимам изменения нагрузки. Высокая надежность пароснабжения вытекает из способности котла работать автономно без ГТУ, что успешно апробировано в Беларуси и в широком диапазоне производительности от 40 до 100 % вместе с ГТУ.

В итоге ПГУ по сбросной схеме на ТЭЦ при сохранении тепловых нагрузок позволяет увеличить электрический абсолютный КПД до 43 %, коэффициент полезного использования топлива до 89 %, эксергетический КПД – до 50 %.

Оценка себестоимости теплоснабжения от ТЭЦ

Колесников Л. А.

Белорусский национальный технический университет

В обозримом будущем предполагается обеспечить полное возмещение населением затрат на теплоснабжение, что требует выработки прозрачных и адекватных критериев для формирования тарифа на тепло. Действующая методика назначения тарифов на теплоснабжение от ТЭЦ вызывает сомнения. В самом деле, при оплате газа по тарифам, **обеспечивающим «полное возмещение экономически обоснованных затрат»**, стоимость **1 Гкал при индивидуальном отоплении равно 28 \$**, а при теплоснабжении от ТЭЦ – 41 \$ (для организаций – 47.3 \$).

Вероятной причиной высоких цен является сама методика формирования тарифа на тепло, поставляемое ТЭЦ. На выработку тепла относится количество топлива, эквивалентное полной отдаче тепла внешним потребителям. Такой подход справедлив для котельной, но не для ТЭЦ. Тепло от ТЭЦ – это, в основном, тепло конденсации после паровой турбины и является, по сути, «отходами производства». Его стоимость даже не нулевая, а отрицательная, поскольку необходимы затраты на охлаждение. Тогда стоимость такой *услуги*, как централизованное отопление, должна определяться не стоимостью топлива для побочной генерации тепла, а стоимостью доставки **бесплатно** тепла потребителям. В стоимость доставки следует включать амортизационные отчисления, расходы на ремонт и прочие расходы, но относящиеся только к тому оборудованию, которое используется для производства и распределения тепла. В первом приближении оценить удельную себестоимость тепла от ТЭЦ можно по простой зависимости:

$$C_{\text{ТЕПЛО}} = (1/Q_{\text{ТЕПЛО}})(A_{\text{ОБОРУД}} + C_{\text{ДОСТАВКИ}} + C_{\text{ПОДОГРЕВ}}),$$

где $Q_{\text{ТЕПЛО}}$ – объем отпускаемого тепла; $A_{\text{ОБОРУД}}$ – расходы на амортизацию, ремонт и накладные расходы, отнесенные к стоимости оборудования, используемого для производства тепла; $C_{\text{ДОСТАВКИ}}$ – стоимость доставки тепла потребителю; $C_{\text{ПОДОГРЕВ}}$ – стоимость подогрева воды в тепловых сетях. Если выбрать в качестве прототипа Минскую ТЭЦ–4, и пренебречь значением $C_{\text{ПОДОГРЕВ}}$, то оценочное значение $C_{\text{ТЕПЛО}}$ получается равным ~ 2.1 \$/Гкал. Предлагаемый подход, включающий в себестоимость тепла, получаемого от ТЭЦ, только затраты на его доставку, позволит сформировать конкурентоспособные тарифы и принимать более адекватные решения по развитию как отрасли в целом, так и конкретных предприятий.

Методика пересчета показаний выбросов загрязняющих веществ и определения требуемого эмиссионного класса горелок

¹Ярмольчик М. А., ²Гламаздин П. М., ²Гламаздин Д. П.

¹Белорусский национальный технический университет

²Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Производители горелок определяют концентрацию вредных выбросов при остаточном кислороде 3%, что соответствует $\alpha = 1,167$ в мг/кВт·ч. При применении таких единиц результат измерений практически не зависит от количества кислорода в дымовых газах, но, т.к. с ростом избытка воздуха будет увеличиваться и объем отходящих газов, коэффициент пересчета в мг/м³ будет также увеличиваться. Если нам понадобится определить коэффициент пересчета при остаточном содержании кислорода в дымовых газах, то

$$V_{\text{в.нрн.}_{O_2=X\%}}^R = V_{\text{в.нрн.}_{O_2=X\%}}^T \cdot \frac{V_{O_2}}{V_{O_2} - K_{V_{O_2}}} = \alpha V_{\text{в.нрн.}_{O_2=X\%}}^T.$$

Находим количество влаги в дымовых газах:

$$V_{H_2O}^{O_2=X\%} = 0,01 \left(\sum \frac{n}{2} C_m H_n + 1,6 \times V_{\text{в.нрн.}_{O_2=X\%}}^R \right).$$

Так как мы определили *удельный* теоретический объем воздуха на горение, то для нахождения удельного объема сухих дымовых газов прибавим 1 м³ (т. е. объем горючего газа). Тогда объем сухих продуктов сгорания:

$$V_{\text{с.г.нрн.}_{O_2=X\%}}^R = (V_{\text{в.нрн.}_{O_2=X\%}}^R + 1) - V_{H_2O}^{O_2=X\%}.$$

В результате для пересчета мг/кВт·ч в мг/м³ находим обратный коэффициент:

$$f = 3,6 / (Q_p^n / V_{\text{с.г.нрн.}_{O_2=X\%}}^R),$$

где 3,6 – коэффициент пересчета кВт·ч → МДж.

Применяя такой метод пересчета можно получить значения выбросов загрязняющих веществ в мг/м³, если лимитирующие значения указаны в мг/кВт·ч, но специально оговорено при каком значении остаточного кислорода или коэффициенте избытка воздуха указаны показатели. Таким образом можно определить эмиссионный класс горелки в соответствии с экологическими нормами, принятыми в мг/м³.

Искусственная сушка льнотресты в Республике Беларусь

Романюк В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Лен сегодня занимает должное место в хозяйственном комплексе Беларуси. Благодаря наличию требуемого сочетания почвенно-климатических условий это традиционная белорусская сельскохозяйственная культура, характеризующаяся уникальными потребительскими свойствами, стабильным спросом внутри страны и за ее пределами.

Одним из проблемных мест в технологии переработки льнотресты является сушка сырья, что связано с климатическими особенностями Беларуси (повышенная влажность (более 23%) в утренние и вечерние часы и неблагоприятная погода). Одним из решений проблемы может быть искусственная сушка льнотресты, но уже непосредственно в рулонах на специальных сушильных установках.

При существующих сушильных машинах конвейерного типа неоднородность линейной плотности слоя тресты перед сушкой и сам процесс сушки сопровождаются определенной дезориентацией стеблей. Повышенная растянутость, перекосы стеблей приводят к значительным потерям длинного волокна при трепании и к снижению эффективности производства в целом. Учитывая, что стебли в рулонах, сформированных из лент комбайнового расстила, имеют наиболее оптимальное расположение в плане параллельности, сушка льнотресты в рулонах на специальных сушильных установках и ликвидация в технологической линии льнозаводов сушилок конвейерного типа повысят пригодность слоя к обработке.

Параметры рулонов льнотресты, предназначенных для искусственной сушки, должны отвечать определенным требованиям, при которых обеспечивается наиболее равномерное и эффективное высыхание материала.

Известно, что одним из наиболее эффективных приемов повышения выхода и качества длинного волокна является отлежка льнотресты после сушки перед переработкой. Несмотря на высокую технологическую эффективность этого приема, при сноповой технологии уборки и переработки льнотресты его ликвидировали. Оставаясь в технологии, отлежка нарушала непрерывность технологического процесса и требовала дополнительных затрат ручного труда. С переходом на рулонную технологию уборки, хранения и переработки льняной тресты отлежку можно включить в технологический процесс как обязательный прием.

Поэтому исследование процесса искусственной сушки льнотресты и ее отлежки после сушки в рулонах является актуальной научной задачей.

Гибридные солнечные коллекторы

Петровская Т. А.

Белорусский национальный технический университет

Для использования энергии солнца для энергетических целей необходимо применение солнечных панелей или батарей. Солнечная энергетика – наиболее перспективное направление энергосберегающих технологий, что обусловило такую ее популярность во всем мире.

Гибридные солнечные коллекторы предназначены для одновременного производства электричества и горячей воды. Данный солнечный коллектор представляет собой объединение фотоэлектрической панели и теплового солнечного коллектора и сокращенно называется PVT панель. Как известно, что эффективность традиционного фотоэлектрического модуля падает при росте температуры, особенно производительность электроэнергии резко снижается при температуре на поверхности фотоэлемента выше 50 °С, что часто наблюдается в летнее время в классических солнечных батареях. у гибридных коллекторах, тепло поглощается циркулирующей жидкостью для получения горячей воды, тем самым снижает рабочую температуру элемента и повышая его эффективность. Таким образом генерируется дополнительная электроэнергия. Такой симбиоз позволяет в два раза сократить площадь установки при необходимости использования одновременно солнечных коллекторов и фотоэлектрических модулей на одном здании.

В некоторых современных солнечных батареях достигается столь высокая концентрация солнечных лучей на ограниченной площади, что температура в некоторых их наиболее проблемных участках нередко достигает 120–130 Цельсия. Суть предлагаемой решения состоит в принудительной прокачке воды через специальные микроканалы, проложенные на панели солнечной батареи. Разработанная технология ультраконцентрированного покрытия привела к созданию так называемой «гибридной» солнечной панели с водяным охлаждением – по аналогии с теми образцами техники кондиционирования, которые в настоящее время используются для предохранения компьютерных процессоров от перегрева.

Преимущества гибридных:

- экономия пространства;
- на 15% больше выработанной электроэнергии за год;
- предотвращение перегрева фотоэлементов;
- альтернативный источник тепла и электроэнергии в одном приборе.

Современные способы прохождения минимумов графика электрических нагрузок

Зеленин Д. С.

Белорусский национальный технический университет

Проблема покрытия неравномерности графиков электрической нагрузки характерна для любой энергосистемы мира. Как правило, она решается, за счет создания в энергосистеме оптимальной структуры генерирующих мощностей, возможностью организации перетоков с соседними энергосистемами и привлечением потребителей к выравниванию графика нагрузки энергосистемы за счет административных и экономических мер.

При этом, как известно необходимо решать две задачи: обеспечение пиковых нагрузок и прохождение минимума нагрузки в ночные периоды. Для Республики Беларусь проблема прохождения пиковых нагрузок серьезно обострилась после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС.

В настоящее время в Республике Беларусь к регулированию графиков электрических нагрузок привлекается оборудование, установленное на КЭС, так и на ТЭЦ. Во втором случае для прохождения минимумов нагрузки применяются несколько способов, различие между которыми состоит в способах компенсации недоотпуска теплоты из отборов теплофикационных турбин. Наиболее известны три вида таких схем: схема с разгрузкой отборов на энергетические или водогрейные котлы ТЭЦ; схема с разгрузкой отборов на тепловые аккумуляторы с зарядкой последних отборным паром в дневные часы; схема с разгрузкой отборов на электродкотлы, получающие электроэнергию от разгружаемого турбоагрегата.

В настоящее время в мировой практике находят применение все больше технических решений направленных на выравнивание графиков. Кроме достаточно хорошо известных направлений с использованием газоздушные аккумулирующих станций и гидроаккумулирующих станций все большее применение находят технологии "Power-to-X", подразумевающие использование электроэнергии для получения вторичного теплоносителя, который потом может быть использован как для выработки электроэнергии, так и для отпуска тепловой энергии. К ним можно отнести использование электроэнергии для получения тепловой энергии с применением электродкотлов и компрессионных тепловых насосов большой мощности; электроэнергии для получения водорода и последующим получением метана и использования его в сетях природного газа, использованием электроэнергии для нагрева промежуточного теплоносителя (например, песок).

Интеграция ТНУ в системы теплоснабжения

Седнин А. В., Седнин А. А.

Белорусский национальный технический университет

Интеграция большого количества возобновляемых источников электроэнергии в действующие энергетические системы требует поиска технических решений, направленных на поиск баланса потребления и производства. Одним из направлений является более широкое применение электроэнергии для покрытия тепловых нагрузок систем теплоснабжения.

В качестве приоритетных технологий рассматриваются применение тепловых насосов и электродкотлов совместно с аккумулированием тепловой энергии. Применение компрессионных тепловых насосов большой мощности в системах централизованного теплоснабжения является одним из перспективных направлений для стран Европейского Союза. С энергетической точки зрения применение компрессионных ТНУ более привлекательно, однако их удельная стоимость в 3–4 раза превышает стоимость электродкотлов. Данное обстоятельство делает обе технологии конкурентными в энергосистемах с большой долей электроэнергии получаемой от возобновляемых источников или АЭС. Очевидно, что ТНУ необходимо использовать как базовый источник теплоты с большим числом часов использования установленной мощности, в то время как электродкотлы могут быть выгодны даже при работе 500–1000 часов в году.

В качестве источников низкопотенциальной теплоты используются:

– сточные воды – наиболее используемый источник низкопотенциальной теплоты), температурный диапазон варьируется от 10 до 20 °С. Как правило сточные воды проходят предварительную очистку (подготовку) перед тем как используются в ТНУ, за исключением нескольких установок в Норвегии;

– вода из природных водоемов (морская, речная), температурный диапазон от 2 до 15 °С;

– геотермальные источники, температурный диапазон от 9 до 55 °С;

– дымовые газы, температурный диапазон от 34 до 60 °С;

– сбросная теплота промышленных предприятий, температурный диапазон от 12 до 46 °С;

Согласно многочисленным исследованиям и прогнозам к 2050 году доля компрессионных тепловых насосов в балансе СЦТ составит более 35 %. Для широкого применения ТНУ в Республике Беларусь в первую очередь необходимо определить оптимальный источник низкопотенциальной теплоты.

Технические решения по аккумулированию энергии в условиях функционирования АЭС

Петюк С. В.

Белорусский национальный технический университет

Предполагаемый в ближайшее время ввод АЭС в Республике Беларусь требует внедрения дополнительных технических решений по аккумулированию энергии. Существует несколько принципиально различных подходов в решении вопроса об аккумулировании электроэнергии, среди которых необходимо выделить три направления: «Электроэнергия-в-Газ» (получение водорода или синтетического метана), «Электроэнергия-в-Жидкость» (производство жидкого топлива, такого как метанол или синтетический дизель) и «Электроэнергия-в-Теплоту» (холод).

Технологии «Электроэнергия-в-Газ» и «Электроэнергия-в-жидкость» можно рассматривать как технические решения по использованию электроэнергии для получения топлива, которое потом будет использоваться на энергетическом рынке. Эти технологии подразумевают использование таких процессов как электролиз, ко-электролиз и т. д., с дальнейшим использованием получаемого продукта в транспортной отрасли, в сетях природного газа и так далее. В настоящее время применение этих технологий ограничено, вследствие их высокой стоимости.

Учитывая вышесказанное использование электроэнергии для систем централизованного теплоснабжения (хладоснабжения) выглядит более перспективно, особенно учитывая их широкое распространение в Республике Беларусь. Использование электроэнергии для СЦТ позволит как уменьшить потребление органического топлива, так и повысить маневренные свойства энергосистем. В установках малой мощности могут применяться как прямой электрообогрев, так и компрессионные тепловые насосы. Маневренность обеспечивается за счет дополнительного применения аккумуляторов теплоты и использования приборов в определенные часы суток.

В системах теплоснабжения большой мощности могут применяться электродные котлы или компрессионные тепловые насосы большой мощности в дополнении к существующим энергоисточникам. В таких системах обязательно используется аккумуляция теплоты либо в баках-аккумуляторах, либо непосредственно в тепловых сетях. Стоит отметить, что по энергетической эффективности ТНУ выгоднее электродных котлов. Однако в настоящее время капитальные затраты в ТНУ примерно в пять раз выше чем в электродные котлы.

Использование альтернативных источников энергии в условиях Эквадора

Седнин А. В., Татамуес Позо Рикардо Андрес
Белорусский национальный технический университет

Республика Эквадор – государство на северо-западе Южной Америки. На западе территория Эквадора омывается Тихим океаном, на севере граничит с Колумбией, на востоке и юге – с Перу. В состав государства входят острова Галапагос.

В настоящее время в топливно-энергетическом балансе Эквадора доминирует использование нефтепродуктов. По состоянию на октябрь 2017 года, на долю нефтепродуктов приходилось около 76 % общего потребления страны.

По состоянию на 2014 год фактическая установленная мощность энергоисточников составляла 5299 МВт, при этом на долю ГТУ и дизельных ДВС суммарно приходилось 45 %, на долю ГЭС 42 %. Остальное генерирующее оборудование – паровые турбины, биомассовые установки, солнечные коллекторы и ветрогенераторы.

В 2015 году на долю возобновляемых источников энергии приходилось выработка 46,61 % электроэнергии, большая часть за счет ГЭС (43,23 %).

Несмотря на относительный баланс использования возобновляемых источников энергии и источников на органическом топливе, правительством Эквадора был разработана энергетическая программа на период до 2040 года, которая предусматривает большие изменения в энергетическом секторе страны. В частности планируется существенно увеличить производство электроэнергии на ГЭС, для чего будут введены в эксплуатацию восемь новых ГЭС, что позволит полностью покрыть потребности страны в электроэнергии. Также планируется развивать другие направления по использованию возобновляемых источников энергии, в частности геотермальную энергию. Использование геотермальных источников рассматривается как стратегическая альтернатива для ГЭС.

Суммарный потенциал геотермальных источников в Эквадоре составляет 8000 МВт, из которых 3000 МВт считаются технически достижимых, а около 1000 МВт экономически целесообразными. В настоящее время полностью обследованы и оценены пять потенциально возможных геотермальных источников, на которых возможно установка до 700 МВт электрических мощностей. В первую очередь должны быть реализованы проекты в Chacana (40 MW), Chachimbiro (80 MW) и Tufiño (90 MW).

Повышения эффективности энергоблоков на основе технологии модификации функциональных поверхностей конденсаторов паровых турбин

Варнель К. Я.

Белорусский национальный технический университет

В паросиловых циклах организация процесса конденсации рабочего тела определяет эффективность теплообмена в «холодном» источнике теплоты, а, следовательно, размеры и стоимость конденсаторов (теплообменников, в которых организуется отвод теплоты от рабочего тела), и во многом определяет эффективность функционирования всей установки.

Сам процесс конденсации по его характеру разделяют на пленочную и капельную конденсацию. Первый вид конденсации, когда на поверхности образуется сплошная устойчивая пленка (пленочная конденсация). Второй – процесс с образованием капель (капельная конденсация). Характер взаимодействия поверхности и конденсата зависит от физико-химических свойств конденсата. На практике может протекать смешанная конденсация, когда при переходе в жидкое состояние на поверхности твердого тела на различных участках поверхности наблюдается как пленочная, так и капельная конденсация. При конденсации водяного пара на чистых металлических поверхностях всегда имеет место пленочная конденсация.

С точки зрения эффективности теплообмена следует стремиться к организации капельной конденсации, так как в этом случае коэффициент теплоотдачи значительно выше, чем при пленочной конденсации. Это может быть сделано с помощью поверхностно-активных веществ, т. е. химических веществ, называемых лиофобизаторами (при конденсации водяного пара – гидрофобизаторами). Эти вещества, наносятся на металлическую поверхность (поверхность теплообмена) для создания гидрофобного поверхностного слоя и тем самым достигается ее несмачиваемость.

Нами были выполнены технико-экономические расчеты эффективности применения технологии покрытия поверхности теплообмена поверхностно-активными веществами на конденсаторах Минской ТЭЦ-4 применительно к турбоустановкам Т-250/300-240. Показано, что снижение вакуума в конденсаторе на 1 кПа влечет увеличение вырабатываемой мощности для турбин Т-250/300-240 на 1,83 МВт. При средней отпускной цене одного кВт·ч электрической энергии в 0,017 usd/кВт·ч прямой экономический эффект от реализации технологии на трех конденсаторах Минской ТЭЦ-4 составляет год свыше 400 тыс. долл./год.

Анализ возможности образования пробки деборированной воды в напорной части трубопровода главного циркуляционного насоса в случае протекания аварийного процесса кипения-конденсации в I контуре реакторов типа ВВЭР

Буров А. Л., Герасимова А. Г. Павловская А. А.
Белорусский национальный технический университет

В реакторах под давлением типа ВВЭР борная кислота используется в качестве растворимого поглотителя нейтронов в теплоносителе I контура. Основные функции борной кислоты – компенсировать воздействие на реактивность от выгорания топлива и ксенонового отравления при нормальной эксплуатации и обеспечить необходимую подкритичность реактора во время перегрузки, технического обслуживания, ремонта, а также при аварийных ситуациях. В случае непреднамеренного разбавления теплоносителя I контура чистым конденсатом уменьшение концентрации бора приводит к введению положительной реактивности, что может привести к выводу реактора в критическое состояние и, при дополнительных отказах систем безопасности, к повреждению активной зоны реактора.

При оценке безопасности реакторов с водой под давлением рассматривались два случая борного разбавления: равномерное (гомогенное) разбавление борной кислоты, когда ее концентрация постепенно уменьшается, но концентрация борной кислоты в теплоносителе I контура остается однородной; а также неравномерное (гетерогенное) разбавление борной кислоты, когда в отдельных объемных участках I контура формируется пробка чистого конденсата (теплоноситель с низкой или нулевой концентрацией борной кислоты) и транспортируется в активную зону реактора при протекании время переходных процессов, тогда концентрация борной кислоты в активной зоне реактора становится неравномерной.

Одним из возможных сценариев гетерогенного разбавления теплоносителя I контура является сценарий образования пробки чистого конденсата в напорной части трубопровода главного циркуляционного насоса в случае протекания аварийного процесса кипения-конденсации в I контуре.

Исходным событием возникновения данного аварийного процесса может быть разрыв одной из четырех циркуляционных петель главного циркуляционного трубопровода Ду 850 с двусторонним истечением теплоносителя.

**Анализ протекания режима с ухудшением вакуума в турбоустановке
вследствие отключения части циркуляционных насосов**

Буров А. Л., Пташиц К. П., Пантелей Н. В.
Белорусский национальный технический университет

Поддержание оптимального давления в конденсаторе работающей турбоустановки является необходимым условием для экономичной выработки электроэнергии на тепловых и атомных электростанциях. Из опыта эксплуатации турбин известно, что при ухудшении вакуума в конденсаторе на 1 % против его оптимального значения расход пара турбоустановкой при той же мощности увеличивается на 1–2 %, и как следствие уменьшаются КПД энергоблока в целом.

В настоящей работе был проведен анализ протекания режима с ухудшением вакуума в турбогенераторе типа К-1000-60/3000-3. Исследования проводились с помощью аналитического тренажера турбинного отделения АЭС с реактором типа ВВЭР-1000.

Аварийный сценарий развивается следующим образом. В результате повреждения электрического двигателя циркуляционного насоса срабатывает электрическая защита с отключением 6 кВ выключателя. В результате отключения циркуляционного насоса происходит отключение одного циркуляционного насоса из 4-х работающих.

По сигналу отключения одного циркуляционного насоса начинается разгрузка турбогенератора до 800 МВт со скоростью 0,25–0,3 %/сек. БРУ-К в работу не вступают. В конденсаторе возникает прогрессирующий присос воздуха, увеличивающийся от 0 до 5 т/час.

Одновременно с снижением вакуума наблюдается рост температуры выхлопов турбины и снижение нагрузки турбогенератора при снижении давления в конденсаторе до $0,15 \text{ кгс/см}^2$ (абс).

Далее в соответствии с регламентом эксплуатации энергоблока производится разгрузка турбогенератора в «ручном» режиме и реакторной установки в режиме «Т», а именно действует защита на останов турбины с закрытием стопорно-регулирующих клапанов (СРК), вследствие чего закрываются СРК ЦВД и ЦНД, вступают в работу БРУ-К, срабатывает ускоренная разгрузка блока, включается режим разгрузки и ограничения мощности, в соответствии с которым РУ разгружается до 40% $N_{ном}$. После этого происходит отключение электрогенератора от сети.

Использование теплоты уходящих газов котлов

Жихар Г. И., Купцов М. А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях современных энергетических проблем и роста цен на дефицитные виды топлива (газ и мазут) экономия топлива является важнейшей задачей энергетической отрасли Республики Беларусь.

Одним из основных источников повышения эффективности использования природного газа является полная утилизация теплоты уходящих газов котлов. Для глубокого использования теплоты уходящих газов в котлах широкое распространение в промышленной энергетике получили контактные экономайзеры и конденсационные котлы.

Примером установки контактного экономайзера может служить котел ГМ-50-14/250 Жодинской ТЭЦ. В этом котле уходящие дымовые газы после котла попадают через подводящий газоход в контактный экономайзер, где проходят через каналы газораспределения и равномерно распределяются по всему сечению контактного слоя. Проходя контактный слой, дымовые газы охлаждаются до температуры ниже температуры точки росы. Далее поднимаются вверх и проходят сепаратор, где оставляют капельную влагу и далее удаляются через отводящий газоход дымососом в дымовую трубу.

Для достижения высокого КПД конденсационных котлов необходимы низкие параметры системы отопления. КПД конденсационных котлов сильно зависит от температуры обратного теплоносителя. Для того, чтобы достичь КПД конденсационного котла на уровне 109 %, необходимо, чтобы температура воды на входе в котел была на 10–15⁰ ниже температуры точки росы (57 °С для природного газа). Конденсация водяного пара происходит при температуре обратного теплоносителя ниже 57 °С. Температура обратного теплоносителя бывает выше точки росы только на протяжении 6 % отопительного периода, при которой конденсация исключается.

Примером конденсационных газовых котлов, имеющих высокий КПД, может быть конденсационный котел MONOLITE JB, который обладает чрезвычайно высоким КПД (max 109 %), благодаря чему он занимает верхнюю строчку в классификации подобного оборудования по стандартам ЕС. Настенные конденсационные котлы становятся популярными не только в индивидуальном жилищном строительстве, но как источники тепла для более крупных объектов. К ним относятся котлы модели STELT мощностью от 150 до 640 кВт.

Снижение технического минимума парогазовых установок

Качан С. А., Каранкевич В. В.

Белорусский национальный технический университет

В условиях ввода Белорусской АЭС для глубокого регулирования графика нагрузки энергосистемы и стабилизации ее частоты потребуется привлечение высокоэкономичных (КПД около 57 %) парогазовых установок (ПГУ) класса мощности 420 Вт с трехконтурными котлами-утилизаторами и промежуточным перегревом пара, выполненных на базе передовых газотурбинных установок (ГТУ) типа SGT5-4000F разработки Siemens.

При работе утилизационных ПГУ на пониженных нагрузках имеет место ряд ограничений по факторам надежности, экономичности и экологии. При этом регулировочный диапазон ПГУ зависит от температуры наружного воздуха $t_{нв}$.

Современные энергетические ГТУ, которые являются центральным элементом ПГУ утилизационного типа, допускают достаточно глубокую разгрузку [1] – до 40–45 % против 55–60 % для ГТУ прошлого поколения без существенного ухудшения экологических характеристик. Соответственно углубляется технический минимум нагрузки ПГУ.

Для дополнительного снижения технологического минимума нагрузки ПГУ можно использовать [2]:

- углубление регулирования расхода воздуха с помощью поворотных лопаток входного направляющего аппарата (ВНА) и поворотных направляющих лопаток (ПНА) нескольких первых ступеней компрессора;
- сброс сжатого воздуха на вход компрессора;
- подогрев воздуха перед компрессором с использованием антиобледенительной системы.

Исследования показывают, что применение данных мероприятий позволяет снизить технологический минимум нагрузки ПГУ до 21–34% номинальной мощности в зависимости от $t_{нв}$. Причем большая величина разгрузки достижима в зимний период при более низких $t_{нв}$, когда глубокая разгрузка ПГУ наиболее актуальна.

Возможности глубокой утилизации тепла дымовых газов

Качан С. А., Таранчук А. С.

Белорусский национальный технический университет

Утилизация тепла уходящих газов является одним из основных способов повышения эффективности энергетических котлов ТЭС. Глубокая утилизация тепла подразумевает снижение температуры дымовых газов ниже точки росы с утилизацией значительной части скрытой теплоты конденсации водяных паров.

Большинство внедренных установок – контактные и поверхностные теплоутилизаторы различных конструкций – используют в качестве нагреваемой среды воду (сетевую или «сырую», подаваемую затем на химводоочистку для восполнения потерь). Увеличить глубину утилизации до предельных значений можно при использовании среды, которая имеет отрицательные рабочие температуры, например холодный воздух [1]. При этом для предотвращения низкотемпературной коррозии газоходов и дымовых труб глубоко охлажденные дымовые газы нагревают либо подмесом части исходных дымовых газов либо с использованием теплообменника-рекуператора.

Часть нагретого воздуха может подаваться в котел, обеспечивая процесс горения природного газа. Остальной нагретый воздух может использоваться для отопления производственных помещений, полностью покрывая собственные нужды по теплу. При этом водяное отопление цехов может быть полностью отключено.

Нагретый воздух также может использоваться для повышения надежности и срока службы газоходов и дымовых труб. Это возможно за счет подачи нагретого воздуха в дымовую трубу, что увеличивает скорость потока и снижает его влагосодержание, предотвращая тем самым увлажнение стенок, а в зимний период и промерзания и образования наледей. Возможно также вентилирование нагретым воздухом внутренних стенок дымовой трубы.

**Энергоэффективные технологии при строительстве
и эксплуатации крупных спортивных объектов**

Кравченко В. В., Кравченко Д. В.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь, также как и в других странах мира, строительству спортивных объектов уделяется большое внимание, так как данные объекты реализуют права граждан на занятия физической культурой, на доступность занятий физической культурой и спортом населению страны и их безопасность. В связи с этим актуальным является использование современных, окупаемых спортивных сооружений, которые предоставят населению самые широкие возможности для занятий физкультурой и спортом по всем видам и направлениям, включая традиционные и новые виды спорта, а также для развлечений.

При этом одним из наиболее важных аспектов государственной политики Республики Беларусь является энергосбережение. Выпуск энергоэффективной продукции, повышение энергоэффективности зданий и сооружений – актуальные задачи, которые необходимо решить специалистам на научно-техническом и промышленном уровнях. Согласно Директиве № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» одной из мер по обеспечению энергетической безопасности является уменьшение затрат на производство энергоресурсов за счет применения энергосберегающих технологий и оборудования.

Ярким примером по реализации комплекса энергосберегающих мероприятий, насыщенности передовыми технологиями и собственными разработками, устройству инженерного оборудования, осветительной аппаратуры, коммуникаций и сетей, интеллектуальным системам в спортивных сооружениях страны являются МКРСК «Чижовка-Арена» и спортивно-оздоровительный комплекс «Фристайл».

Энергетическая эффективность при строительстве и эксплуатации этих спортивных объектов обеспечивается за счёт применения инновационных технологий, таких как профильные системы «АЛЮТЕХ», стоечно-ригельная система ALT F50, климатическое оборудование компании CARRIER, теплоутилизаторы Mountair AG, а также элементарным изменением геометрии конструкций (например, покрытие арены, выполненное в виде двух полусфер, минимизировало внутренний объем и разрешило все инженерное обеспечение по дымоудалению, вентиляции, притоку и естественному освещению, что имеет ряд неоспоримых преимуществ при строительстве и в процессе эксплуатации спортивных объектов), что способствует повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

Исследование динамических характеристик канала котельного регулятора мощности энергоблока

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

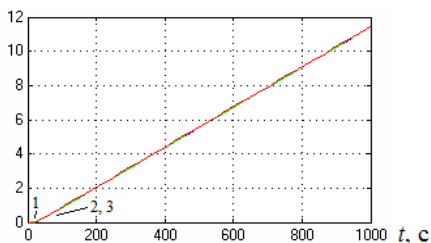
Структурная схема типовой разомкнутой САУМБ может быть представлена эквивалентной схемой в виде двух параллельно включенных каналов КРМ и ТРМ.

Настройка КРМ может быть выполнена любым известным методом синтеза для объектов с запаздыванием. Требования к настройке котельного регулятора мощности простые: монотонный переходной процесс при минимальном времени регулирования с учетом ограничений на регулирующее воздействие.

Было проведено поверочное моделирование канала КРМ типовой САУМБ и двух вариантов упрощенных передаточных функций канала КРМ:

- котельный регулятор – типовой ПИД-регулятор;
- котельный регулятор – регулятор Кулаковых.

Изобразим на рисунке результаты моделирования переходных характеристик канала КРМ и его упрощенных моделей:



Переходные характеристики канала КРМ (1)
и его упрощенных моделей (2, 3)

Из рисунка видно, что переходные характеристики канала КРМ типовой САУМБ и его упрощенных моделей совпадают с достаточной точностью.

Также было выполнено сравнение типовой САУМБ и САУМБ с упрощенной моделью канала КРМ с помощью математического моделирования, которое показало, что для оценки предельных возможностей типовой САУМБ канал котельного регулятора мощности можно представить передаточной функцией в виде идеального интегрирующего звена с запаздыванием.

Параметрическая оптимизация типовой САУМБ в режиме переменного давления пара перед турбиной

Кулаков Г. Т., Артёменко К. И.

Белорусский национальный технический университет

Большое количество публикаций посвящено вопросам автоматического регулирования мощности энергоблоков. В данный момент типовые САУМБ уже не удовлетворяют всем требованиям нового стандарта, который регулирует нормы участия энергоблоков в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности. Также в Белорусской энергосистеме планируется ввод двух энергоблоков Белорусской АЭС суммарной мощностью 2400 МВт, которые будут работать в базовой части графика электрических нагрузок. В связи с этим актуальной становится задача параметрической оптимизации САУМБ в режиме переменного давления пара перед турбиной в диапазоне от 70 до 30 % номинальной мощности энергоблока.

Регулятор топлива настраиваем по передаточной функции опережающего участка по методу частичной компенсации. Котельный ПИ-регулятор мощности (КРМ) настраиваем с помощью метода полной компенсации в частном виде. Структуру турбинного регулятора мощности (ТРМ) формируем на основе передаточной функции оптимального регулятора при помощи передаточной функции датчика измерения давления ивиоля при возмущении изменением положения регулирующих клапанов турбины. Передаточную функцию формирователя сигнала задания представляют в виде звена быстрого реагирования.

Предложена САУМБ, отличающаяся от типовой тем, что котельный регулятор мощности представляет собой реальный ПИД-регулятор. Второе отличие – сигнал по скорости изменения давления перегретого пара перед турбиной не подаётся на вход КРМ в режиме переменного давления пара перед турбиной. Результаты моделирования переходных процессов предлагаемой САУМБ по сравнению с типовой показали улучшение качества управления в некоторых аспектах: при отработке скачка задания $N_{зд}$ полное время регулирования t_p составляет 165 с против 660 с у типовой системы, однако при этом максимальное относительное изменение расхода топлива у типовой САУМБ меньше в два раза. Кроме того, в предлагаемом варианте САУМБ максимальное отклонение положения регулирующих клапанов сократилось по сравнению с типовой системой на 35 %.

При отработке внутреннего возмущения f_1 время регулирования t_p у предлагаемой САУМБ сократилось в 1,57 раза по сравнению с типовой при примерно одинаковых других показателях качества.

Параметрическая оптимизация ПИД-регулятора

Кулаков Г. Т., Слуцкий А. Н.

Белорусский национальный технический университет

Около 90–95 % регуляторов ведущих зарубежных фирм (Vertosso, Astrom), находящихся в настоящее время в эксплуатации, используют ПИД-алгоритм. Вместе с тем недостаточно глубокие знания динамики объектов не позволяют правильно выбрать параметры динамической настройки регулятора. Основные усилия исследователей нацелены на поиск оптимальных методов настройки ПИД-регуляторов. Для упрощения настройки ПИД-контроллеров предложено реализовать оптимальную систему с применением линейного или модифицированного упредителя Смита.

В этом случае структуру и параметры динамической настройки ПИД-регулятора для объектов с запаздыванием можно будет выбирать экспресс-методами структурно-параметрической оптимизации, предложенными в [1], используя только ту часть передаточной функции объектов, которая не содержит запаздывания по каналу регулирующего воздействия. Если динамику объекта представить в виде инерционного звена второго порядка с условным запаздыванием, то передаточная функция оптимального ПИД-регулятора примет вид произведения части обратной передаточной функции объекта, не содержащей запаздывание, на заданную передаточную функцию разомкнутой системы в виде реального интегрирующего звена $W_{зд}^{(n-2)}(p) = 1/[2T_{зд}p((T_{зд}/2)p + 1)]$ с одним параметром динамической настройки $T_{зд} = \gamma\tau_y$. Здесь τ_y – условное запаздывание объекта по каналу регулирующего воздействия, а весовой коэффициент γ выбирают из ряда чисел «золотого сечения».

При уменьшении численного значения γ с 0,618 до 0,09 время отработки скачка задания в методе приближается к звену условного запаздывания $e^{-\tau_y p}$ без перерегулирования. Это позволяет настроить ПИД-регулятор с заданным временем регулирования требуемой скоростью изменения регулируемых параметров при отработке скачка задания.

Анализ переходных процессов САР с ПИД-регуляторами, настроенными по зарубежным аналогам и методам БНТУ, показал, что последние обеспечивают лучшие прямые показатели качества при основных воздействиях за счет соответствующего уменьшения параметра динамической настройки $T_{зд}$.

УДК 621.681

Разработка проекта системы автоматического регулирования мощности блока 300 МВт в условиях избытка электроэнергии в энергосистеме Республики Беларусь

Петрачков А. М., Назаров В. И

Белорусский национальный технический университет

В связи с вводом в эксплуатацию атомной электростанции, перед энергосистемой Республики Беларусь встает ряд проблем, требующих немедленного решения. Одной из таких проблем является использование уже существующих мощностей по выработке электроэнергии. Ранее энергоблоки 300 МВт использовались в базовом диапазоне изменения нагрузок и применение их в других диапазонах не рассматривалось. После ввода энергоблоков АЭС должна быть предусмотрена возможность работы существующих мощностей в широком диапазоне изменения нагрузки. Темой исследовательской работы была выбрана разработка проекта системы автоматического регулирования мощности энергоблока (САУМБ) 300 МВт в условиях избытка выработки электроэнергии в энергосистеме Республики Беларусь, что как раз и подразумевает работу основного оборудования энергоблока в режимах неполной загрузки. Конечной целью данного исследования является создание готового проекта системы автоматического регулирования, включающий в себя структурную и функциональные схемы разработанной САУМБ, а также необходимые оптимальные настройки регуляторов системы регулирования.

Существующие системы автоматического регулирования мощности показывают неудовлетворительные результаты при переходе с одной величины нагрузки на другую, в условиях избытка выработки электроэнергии в энергосистеме. Значения прямых показателей качества отработки основных воздействий оставляют желать лучшего. Существенно повысить качество регулирования и призвана разрабатываемая САУМБ.

В проекте САУМБ планируется внести изменения в ее структуру, а также использовать иные методы настройки регуляторов, поиск оптимальных параметров настройки.

Глубокая утилизация тепла продуктов сгорания отопительных водогрейных котлов

Тарасевич Л. А., Могилат Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Глубокая утилизация продуктов сгорания реализуется при охлаждении их до температуры ниже точки росы. Надежная конденсация водяных паров требует охлаждения продуктов сгорания до температуры порядка 40–45 °С, при этом конденсируются пары, образующиеся при сжигании природного газа, а также пары, содержащиеся в дутьевом воздухе.

Согласно литературным источникам 55–60 % теплосодержания продуктов сгорания природного газа составляет тепло парообразования (конденсации), остальное – физическое тепло. Конденсационный режим наиболее эффективен для котлов на природном газе, так как продукты сгорания природного газа имеют высокое содержание влаги, высокую температуру точки росы. Конденсат практически лишен взвешенных частиц веществ карбонатной жесткости, обладает низким рН. После обработки его можно использовать в водном балансе котельной в качестве подпиточной воды и тепловой сети. Чтобы исключить выпадение конденсата в газовом тракте котла и, особенно, в дымовой трубе предусматриваются различные способы повышения температуры за оборудованием глубокой утилизации. Наиболее простой и экономичный – байпасирование, т. е. пропуск части продуктов сгорания по обводному каналу так, чтобы температура смеси газов была в пределах 70–90 °С. Степень байпасирования составляет 20–30 %. Байпасирование снижает эффективность глубокой утилизации тепла уходящих газов. Оптимальным режимом является работа с байпасированием в холодное время года, а летом – без него.

В передовых западных странах глубокая утилизация тепла продуктов сгорания осуществляется применением водогрейных котлов конденсационного типа, оборудованных конденсационным экономайзером. До 90 % выпускаемых за границей водогрейных отопительных котлов – конденсационные. В Республике Беларусь встречаются единичные случаи установки за котлом контактных экономайзеров, однако системно реализованных проектов глубокой утилизации продуктов сгорания природного газа нет. Использование в качестве конденсационных экономайзеров различных типов теплообменников, глубокой утилизации на базе теплонасосных установок позволяют утилизировать 11–13 % тепловой мощности котла.

Оптимизация потребления тепла на отопление и горячее водоснабжение

Тарасевич Л. А., Могилат Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Направления обеспечения оптимальной эффективности систем отопления и горячего водоснабжения зданий рассматриваются в рамках понятия энергоэффективного строительства. В силу усиливающихся финансовых и общеэкономических факторов главными задачами стали повышение энергоэффективности проектируемых и реконструируемых архитектурно-градостроительных объектов. Приоритетны сегодня два пути повышения энергоэффективности объектов строительства: экономия энергии и привлечение возобновляемых природных источников энергии.

Центральное место в процессе проектирования энергоэффективных зданий занимает оценка и регулирование энергетического баланса, т. е. структуры и величины энергопоступлений от различных источников и фактических энергозатрат в целом по зданию и в отдельных его помещениях. Практика показывает, что наиболее целесообразными признаются разнообразные комбинированные схемы энергоснабжения, сочетающие использование традиционных и одного (или нескольких) видов альтернативных средств. Мировой опыт показал, что экономически эффективными (по соотношению цена/ производительность) являются здания со средней энергоактивностью, в которых энергией возобновляемых природных источников обеспечивается от 40 до 60% общей потребности. Основными активными средствами для зданий, использующих возобновляемые и альтернативные источники энергии являются тепловые насосы – системы трубопроводов, в которых циркулирует морозостойкая жидкость (масло, спирт и т. п.), собирающая низкопотенциальное тепло воздуха, грунта или воды за счет поддерживаемой разницы температур и, как правило, передающая его через теплообменники теплоносителю системы отопления, водоснабжения или вентиляции здания. Совмещение конструкций стен (крыш) и гелиоколлекторов, включение ветрогенераторов в объемную структуру здания и т. п. обеспечивает экономическую и энергетическую целесообразность. Такие решения, основанные на принципе совмещения конструктивных элементов зданий и энергетических установок, позволяют снизить стоимость объекта на 25–35 %.

Анализ коррозионной активности сетевой воды

Пантелей Н. В., Семук В. Е., Пархомчик Е. М.
Белорусский национальный технический университет

Обследование систем теплоснабжения ряда городов, в том числе и г. Минска, показало, что реальная повреждаемость трубопроводов от внутренней коррозии составляет 20–25 % от общего количества поврежденных. Основными факторами, влияющие на процесс внутренней химической коррозии оборудования тепловых сетей и ее степень, является присутствие в сетевой воде коррозионно-агрессивных газов - кислорода и углекислоты.

Несмотря на существующие нарушения водного режима, подготавливаемая в теплосетях вода имеет допустимую коррозионную активность. Агрессивность сетевой воды на источниках РУП «Могилевэнерго» находится в пределах 0,029–0,0919 мм/год, что из общего числа установленных индикаторов коррозии составляет: 4,9 % – низкая, 78 % – допустимая, 17,1 % – высокая. По источникам теплоснабжения РУП «Брестэнерго» низкая агрессивность сетевой воды наблюдается на Пинской ТЭЦ (0,004 мм/год), высокая – на обратном трубопроводе сетевой воды на «Южной районной котельной». По всем остальным источникам наблюдается допустимая агрессивность сетевой воды (0,0314–0,083 мм/год). По РУП «Витебскэнерго» наблюдается высокая агрессивность сетевой воды на Новополоцкой ТЭЦ (66,7 %) и на теплотрассе Витебская ТЭЦ – город (16,7 %). По остальным теплоисточникам агрессивность воды допустимая или низкая. Агрессивность сетевой воды на источниках РУП «Гомельэнерго» находится в пределах 0,001–0,085 мм/год, что соответствует допустимому уровню агрессивности. Наиболее низкие показатели (0,0089–0,0138) наблюдаются на Речицкой ТЭЦ – низкая агрессивность, наиболее высокий показатель агрессивности (0,12–0,15) – на Гомельской ТЭЦ-2 (высокая агрессивность). По РУП «Гродноэнерго» все теплоисточники имеют допустимую коррозионную агрессивность. Источники РУП «Минскэнерго» имеют низкую и допустимую агрессивность сетевой воды. Высокая агрессивность наблюдается на магистралях Минской ТЭЦ-3, МТЭЦ-2, МТЭЦ-4 и на промплощадке Жодинской ТЭЦ.

Причины высокой агрессивности – повышенная концентрация кислорода в межотопительный период, за счет присосов недеаэрированной воды в закрытую систему водоснабжения, а также нестабильная работа химической деаэрации.

Особенности ультразвуковой дефектоскопии при диагностике тепломеханического оборудования ТЭС

Герасимова А. Г., Павловская А. А.

Белорусский национальный технический университет

Ультразвуковая диагностика является одним из основных методов неразрушающего контроля (НК) состояния металла тепломеханического оборудования ТЭС. Как правило, она наиболее безопасна, достоверна и оперативна чем другие методы НК. Ультразвуковая диагностика применяется в толщинометрии, дефектоскопии и структуроскопии оборудования и трубопроводов ТЭС.

С помощью портативных и простых в использовании ультразвуковых толщиномеров можно определять толщину и другие геометрические размеры при одностороннем доступе к объекту контроля (ОК). В структуроскопии ультразвуковая диагностика применяется для определения механических свойств, структуры металла, оценки напряженного состояния и динамики развития дефектов. Но наибольшее распространение ультразвуковая диагностика нашла в дефектоскопии, которая применяется для обнаружения любых внутренних дефектов основного металла и сварных швов оборудования и трубопроводов. Ультразвуковые дефектоскопы обладают большой чувствительностью к дефектам, которая составляет порядка 0,001 мкм. К основным недостаткам ультразвуковой дефектоскопии следует отнести жесткие требования к качеству контролируемой поверхности и сложности в определении точных размеров дефектов и их ориентации.

В последнее время при диагностике металла и сварных швов начали применяться ультразвуковые интроскопы и томографы. Их основное отличие от ультразвуковых дефектоскопов в формате представления данных на экране приборов. В классических ультразвуковых дефектоскопах результаты контроля представляются в виде развертки (А-скан), где по величине и протяженности импульсов судят о наличии дефектов и их эквивалентных размерах. Ультразвуковые томографы и интроскопы представляют результаты контроля в виде изображений внутренней структуры материала ОК.

Чаще всего используются двумерные изображения плоских сечений ОК (томограммы), но уже есть разработки приборов с трехмерным (объемным) представлением внутреннего строения объекта. Изображение, кроме удобства восприятия результата контроля, вполне адекватного реальному расположению границ и несплошностей материала, во многих случаях позволяет измерять реальные, а не условные размеры дефектов. Широкому внедрению ультразвуковой томографии и интроскопии при диагностике оборудования и трубопроводов ТЭС пока препятствует их относительно высокая стоимость.

Оценка параметров овальности баков деаэраторов повышенного давления ТЭС и АЭС

Ковшик И. А., Карницкий Н. Б.

Белорусский национальный технический университет

Вопросы безопасности оборудования ТЭС и АЭС стояли всегда остро, высокие параметры среды, опасность воздействия высоких температур на персонал, однако сейчас, вследствие устаревания оборудования они становятся особо важными. Невозможность замены отработавшего свой ресурс оборудования, исходя из экономических соображений, требует более тщательный подход к изучению изменению свойств металла. В данном конкретном случае рассматриваются баки деаэраторов. Данные виды сосудов имеют наибольший объем из сосудов, работающих под давлением на ТЭС и АЭС, и к 2018 году 85 % процентов баков деаэраторов повышенного давления с толщиной стенки 10–16 мм, установленных на ТЭС в странах бывшего СССР отработали расчетный срок службы.

Техническое диагностирование деаэраторов на многих ТЭС выявило изменение относительной овальности корпусов баков деаэраторов сверх нормативных норм. Анализ документов отражающих ремонты деаэраторов за весь период эксплуатации выявил ряд проблем. Изначально баки деаэраторов повышенного давления были снабжены установленными изнутри приварными кольцевыми ребрами жесткости. В процессе эксплуатации, в области приварки ребер к телу бака в 1970-х гг., практически на всех обследованных деаэраторных баках повышенного давления обнаружены трещины. Впоследствии ребра жесткости были удалены, но возникла новая проблема – рост овальности. Так как для оценки фактической работоспособности сосуда с нарушением геометрических характеристик формы используются расчеты на статическую и динамическую прочность, дающие иногда противоречивые данные, в статье рассмотрены возможности устранения данной проблемы:

1. Оценены расчеты на прочность овальных баков по различным нормативным документам (ГОСТ, ГОСТ Р, РД).
2. Приведены рекомендации по эксплуатации для предотвращения роста овальности.
3. Приведен расчет МКЭ в программе Visual FEA.

Были собраны сведения об эксплуатации баков деаэраторов установленных на станциях высокого и сверхкритического давления. Полученные результаты могут быть полезны техническому персоналу ТЭС.

Экономика и организация энергетики

**Сценарий постановки управленческого учета и применения МСФО
в энергетике**

Манцорова Т. Ф., Алексеева Л. Д.

Белорусский национальный технический университет ИТМО,
Санкт-Петербург

Актуальность задачи, стоящей перед предприятиями энергетики, состоит в том, что внедрение МСФО позволит совершенствовать внутреннюю систему управления предприятием за счет использования единых методик учета, а также обеспечит надежность и прозрачность информации, расширит круг потенциальных инвесторов, открыв выход на международные рынки капитала.

Предприятия энергетической отрасли имеют существенные особенности, как в формировании средств, так и их источников. Характерной особенностью является большой удельный вес основных средств в общей сумме активов предприятия (до 90 %). Ввиду существенности суммы основных средств и большой их номенклатуры возникают проблемы с оценкой данных объектов.

В настоящий момент есть некоторые существенные отличия составления отчетности в формате МСФО и по стандартам бухгалтерского учета. Например, если объект незавершенного строительства на отчетную дату готов к использованию, но ввод в эксплуатацию документально не оформлен, то по белорусским стандартам бухгалтерского учета он продолжает находиться в составе незавершенного строительства, а по МСФО – уже представляет собой объект основных средств.

Трансформация отчётности предприятий электроэнергетики в формат МСФО, является одним из важнейших элементов международной привлекательности, как самого предприятия, так и национальной экономики в целом, поскольку способствует формированию открытого бизнес-климата.

Распределение топливных затрат при когенерации

Нагорнов В. Н.

Белорусский национальный технический университет

В общем случае под когенерацией понимается совместная выработка электрической энергии и теплоты. Роль первичных двигателей при этом могут выполнять поршневые двигатели, паровые и газовые турбины. В случае использования паросиловых установок вместо когенерации, широко распространение получил другой термин – теплофикация. Поскольку в последние годы когенерационные установки на базе двигателей внутреннего сгорания находят все более широкое распространение, возникает необходимость обеспечения одинаковых конкурентных возможностей между ними и традиционными ТЭЦ. Для этого распределение топливных затрат между электроэнергией и теплотой необходимо осуществлять в соответствии с принятым в республике так называемым «физическим методом», согласно которому вся экономия от комбинированного производства относится на электроэнергию. Исходя из изложенного вытекает следующая схема разделения топливных затрат при когенерации.

На первом этапе исходя из энергетической характеристики двигателя рассчитывается полный расход топлива на первичный двигатель – B .

Затем рассчитывается расход топлива на теплоту:

$$B_{TЭ} = \frac{0,143}{\eta_6} Q_{отн},$$

где η_6 – КПД теплообменника;

$Q_{отн}$ – полезный отпуск тепло потребителям.

Расход топлива на электроэнергию, определяется как разность

$$B_{ээ} = B - B_{TЭ}.$$

Условно-постоянные затраты распределяются по так называемому «сырьевому» методу, т. е. пропорционально расходу топлива на электроэнергию и теплоту.

Инновационное развитие Республики Беларусь

Кравчук Е. А.

Белорусский национальный технический университет

Для Республики Беларусь, располагающей значительным научным потенциалом и не имеющей достаточной сырьевой базы, стратегия дальнейшего развития национальной экономики определяется эффективным использованием инноваций.

В данный момент стимулирование инновационной деятельности осуществляется по следующим направлениям: предоставление налоговых льгот субъектам инновационной деятельности, осуществление НИОКР, производящим и реализующим инновационную и высокотехнологичную продукцию; таможенное регулирование экспорта продукции и технологий, созданных на основе новшеств, а также импорта сырья и оборудования, необходимых для производства; создание и развитие субъектов инновационной инфраструктуры как площадок для осуществления инновационной деятельности.

В качестве площадки для организации инновационных производств в сферах электроники, фармацевтики, тонкой химии, биотехнологий, машиностроения и новых материалов, НИОКР и логистики создан Китайско-Белорусский индустриальный парк «Великий камень». В республике также сформирована сеть субъектов инновационной структуры, включающая 10 научно-технологичных парков и 7 центров трансфера технологий.

Практическим воплощением реализации механизмов инновационной деятельности стало выполнение Государственной программы инновационного развития. В ходе ее выполнения в республике создано более 19 тыс. новых рабочих мест, а объем производства инновационной продукции, полученной в результате реализации программы, составил более трети общего объема произведенной в республике инновационной продукции. Более 25 % созданной в рамках Государственной программы продукции поставлено на экспорт (1,2 млрд долл. США).

В данный момент государственное финансирование научных исследований и технологических разработок, предоставление налоговых и иных льгот инновационному бизнесу становятся главными факторами, определяющими поддержку инновационного развития нашей страны.

Практические инструменты анализа рисков энергетических предприятий

Тымуль Е. И.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных этапов анализа рисков, от качественного проведения которого во многом зависит эффективность управления рисками в целом, является оценка рисков. В практике риск-менеджмента существует большое количество инструментов для проведения анализа рисков, основными из которых являются следующие:

1. Метод экспертных оценок: комплекс логических и математико-статистических методов и процедур по переработке необходимой информации, связанных с деятельностью эксперта;

2. SWOT-анализ: таблица, позволяющая наглядно противопоставлять сильные и слабые стороны проекта, его возможности и угрозы;

3. Роза (звезда), спираль рисков: иллюстративная экспертная оценка рискованности факторов;

4. Метод аналогий или консервативные прогнозы: исследование накопленного опыта по проектам-аналогам с целью расчета вероятностей возникновения потерь;

5. Метод ставки процента с поправкой на риск: увеличение безрисковой ставки процента на величину надбавки за риск (рисковая премия);

6. Метод критических значений: нахождение тех значений переменных (факторов), проверяемых на риск, которые приводят расчетную величину соответствующего критерия эффективности проекта к критическому пределу;

7. Метод критических значений: нахождение тех значений переменных (факторов), проверяемых на риск, которые приводят расчетную величину соответствующего критерия эффективности проекта к критическому пределу;

8. «Деревья» решений: метод принятия статистических решений при выборе одного из альтернативных вариантов и формировании оптимальной стратегии.

Каждый из перечисленных инструментов имеет как свои достоинства, так и недостатки. Поэтому выбор того или иного инструмента анализа рисков должен проходить с учетом специфики как самого предприятия так и возникающих рисков. Для наиболее наглядной оценки влияния каждого вида риска энергетическим предприятиям будет целесообразно применять «спираль» рисков.

Место и роль энергетики в национальной экономике страны

Чиж Е. П.

Белорусский национальный технический университет

Энергетика является одним из важнейших видов экономической деятельности страны, выбор направления развития энергетического комплекса влияет на развитие национальной экономики страны и на ее энергетическую безопасность. Топливо-энергетический комплекс Республики Беларусь представлен системами добычи, транспорта, хранения, производства и распределения основных видов энергоносителей: природного газа, нефти и продуктов её переработки, твёрдых видов топлива, электрической и тепловой энергии.

В республике ограничены собственные сырьевые запасы, в этой связи экономика страны по-прежнему зависит от поставок нефти из России и колебаний мировых цен на сырьевые товары.

Создание Единого энергетического рынка энергии между странами ЕАЭС и строительство БелАЭС являются одними из ключевых направлений для повышения энергетической безопасности республики. Ввод в эксплуатацию двух атомных блоков мощностью 1170 МВт каждый позволит Беларуси заместить около 5 млрд куб. м газа в год и сэкономить на этом около \$1 млрд.

Создание конкурентоспособного открытого электроэнергетического рынка невозможно без создания общего рынка первичных энергоносителей. Первым этапом создания единого рынка энергии является создание общего рынка нефти и газа. Концепция единых рынков углеводородов и электроэнергии подразумевает доступ участников внутренних рынков к закупкам газа и электроэнергии, а также недискриминационный доступ к соответствующим транспортным инфраструктурам

Программой формирования общего рынка газа Евразийского экономического союза предусмотрена покупка газа на национальных биржах с его оплатой в национальных валютах.

Оценка эффективности использования ИТ-технологий в управлении предприятием

Манюкевич А. В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время управление любым крупным предприятием предполагает использование информационных систем. В условиях жесткой глобальной конкуренции победу будут одерживать не крупные предприятия, а динамичные. Информация превратилась в четвертый экономический фактор наряду с сырьем, трудом и капиталом. Современное предприятие будет эффективнее других если будет полностью использовать возможности современных ИТ-технологий.

Естественно, что возникает вопрос оценки эффективности использования информационных технологий в управленческом труде.

В настоящее время многие авторы предлагают использовать методику оценки совокупной стоимости владения (ССВ), которая позволяет с большой вероятностью прогнозировать и рассчитывать эффективность использования информационных технологий.

Основной целью подсчета совокупной стоимости владения является:

- выявление избыточных статей расходов;
- оценка возможности возврата вложенных в ИТ средств;
- анализ ИТ как объекта инвестиций;

Методика расчета состоит из следующих этапов:

1) Определение типа предприятия.

Необходимо определить тип предприятия и его профиль, и получить следующие данные из его бюджета: общий валовый доход, валовый доход на одного работающего, процентный показатель роста за расчетный срок, бюджет на информационные технологии.

2) Распределение издержек по категориям затрат, относящихся к информационной системе.

3) Сбор и анализ информации о прямых и косвенных расходах.

4) Подсчет стоимости.

При подсчете стоимости ССВ подсчет прямых затрат не вызывает сложностей, более сложный вопрос-подсчет косвенных издержек, а именно стоимость времени незапланированных простоев.

Оценка ССВ имеет большое значение, так как при анализе имеется возможность найти места, в которых нерационально используются финансовые ресурсы, что в конечном счете позволит найти пути снижения издержек и обеспечить компании резервы в конкурентной борьбе.

**Особенности распределения затрат при производстве
электро- и тепловой энергии на ТЭЦ**

Самосюк Н. А.

Белорусский национальный технический университет

Анализ энергетического баланса Республики Беларусь позволяет сделать вывод, что наибольшую долю в общем объеме производства электроэнергии и тепловой энергии занимают теплоэлектроцентрали (соответственно 52,6 и 55,7 %). Производство двух видов продукции на ТЭЦ требует распределения расхода топлива, экономии топлива и затрат между электроэнергией и теплом. Поэтому актуальным вопросом в энергетике Республики Беларусь является выбор экономически обоснованного метода распределения затрат. Распределение затрат на ТЭЦ осложняется спецификой технологии производства и потребления электроэнергии и тепла, заключающейся в следующем: 1) разный уровень затрат на эксплуатацию и техобслуживание теплогенерирующего и электрогенерирующего оборудования; 2) технологии производства; 3) необходимость учета энергетической ценности тепла; 4) режим потребления; 5) погодные условия.

В Республике Беларусь в настоящее время используется физический метод разделения затрат на ТЭЦ между электрической энергией и тепловой. Использование физического метода приводит к искусственному снижению себестоимости электрической энергии и, соответственно, завышению себестоимости тепловой энергии. Наиболее перспективным является использование метода Вагнера для разделения затрат. Данный метод позволяет разделить более справедливо затраты между двумя видами продукции.

Экономический фактор как основополагающая составляющая в разработке концепции автоматизации распределительных сетей среднего напряжения

Сапожникова А. Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время практически во всех ведущих экономиках мира инициированы национальные программы, проекты и стратегии в области внедрения элементов автоматизации, призванных обеспечить существенное улучшение надежности и гибкости функционирования их электроэнергетических систем, повышение экономической эффективности работы электроэнергетики, а также обеспечить переход на принципиально новый уровень взаимодействия всех субъектов энергетического рынка. Приоритетным направлением для Беларуси является разработка автоматизации распределительных сетей.

Распределительная электрическая сеть среднего напряжения является основным звеном, определяющим показатели качества и надежности электроснабжения потребителей. По оценкам зарубежных экспертов, доля отключений, связанных с повреждениями в распределительной сети среднего напряжения, при расчете суммарного индекса SAIDI составляет 65 %. Одной из причин такого высокого значения является недостаточный уровень автоматизации сетей среднего напряжения. Современный подход к автоматизации сетей среднего напряжения предполагает создание интегрированной системы автоматизации, включающей в себя информационно связанные подсистемы защиты; управления; учета; мониторинга и диагностики оборудования; связи и т. д.

В свою очередь, внедрение основных видов оборудования для автоматизации распределительных сетей влечет за собой достижение достаточно широкого перечня экономических выгод: выгод приводящих, к улучшению использования оборудования; выгод, обеспечивающих снижение потребности в инвестициях в сетевую инфраструктуру; выгод, приводящих к снижению эксплуатационных затрат сетевой инфраструктуры; выгод, приводящих к снижению несанкционированного потребления энергии; выгод, приводящих к повышению энергоэффективности систем электроснабжения; выгоды, приводящие к снижению затрат на электроэнергию.

По результатам исследований, проведенных ElectricPowerResearchInstitute (EPRI), показывают, что преобразование сегодняшней энергетической системы в автоматизированную систему приводит к многочисленным эффектам. EPRI оценивает дополнительную выручку электросетевых компаний в размере 1,8 млрд дол. к 2020 за счет более эффективной и надежной сети.

Экономическая эффективность применения ПИ-труб

Забелло С. А.

Белорусский национальный технический университет

Тепловая сеть – это определенная система трубопроводов, дополнительных сооружений и оборудования, которая обеспечивает транспортировку и распределение теплоносителя от теплогенератора к конечному потребителю, а затем возвращается к источнику тепла для повторного (циклического) нагрева.

Существует два основных метода подземной прокладки тепловых сетей:

- бесканальная прокладка предизолированных трубопроводов;
- канальная прокладка – трубопроводы укладываются в специально подготовленные ж/б каналы, которые могут быть непроходными, полупроходными или проходными.

ПИ трубы – это стальные трубы, покрытые сверху слоем пенополиуретановой тепловой изоляции (трубы в ППУ изоляции), который заключен в цинковую или полиэтиленовую оболочку. Для мониторинга герметичности системы трубы оснащены системой оперативного дистанционного контроля, представляющие собой систему термиллов, соединенные между собой медными проводниками, проложенные в тепловой ППУ изоляции.

ПИ-трубы обеспечивают следующие преимущества: 1) повышение долговечности (ресурс трубопроводов) в 2–3 раза; 2) снижение тепловых потерь в 2–3 раза; 3) снижение эксплуатационных расходов в 9 раз (удельная повреждаемость снижается в 10 раз); 4) снижение капитальных затрат в строительстве в 1,3 раза; 5) наличие системы оперативного дистанционного контроля за увлажнением теплоизоляции.

Недостатки применения предизолированных трубопроводов: в связи с бесканальной прокладкой трубопроводов повышается опасность их повреждения из-за отсутствия защиты строительных конструкций, а в случае серьезного порыва происходит вымывание грунта и образование полостей под землей, что создает опасность для окружающих людей.

О разработке норм времени на ремонт и обслуживание энергетического оборудования

Лимонов А. И.

Белорусский национальный технический университет

С целью совершенствования отраслевой нормативной базы разработаны нормы времени, предназначенные для предприятий и организаций входящих в состав ГПО «Белэнерго». Нормы времени предназначены для определения трудоемкости и формирования отпускной цены на предприятиях и организациях Белорусской энергосистемы: на пусконаладочные, диагностические и наладочные работы на турбоустановках и вспомогательном оборудовании электростанций; на конструкторские работы по котельным установкам, технологическим трубопроводам и вспомогательному оборудованию; на работы по ремонту оборудования топливоиспользования, приборов тепловой автоматики и измерений, ремонту турбогенераторов и возбуждателей, оборудования гидроэлектростанций, силовых трансформаторов напряжением 6–750 кВ, электродвигателей переменного тока.

При расчете стоимости конструкторских, пусконаладочных, диагностических, наладочных и ремонтных работ применяются «Рекомендации по определению тарифных ставок (окладов) работников коммерческих организаций и о порядке их повышения», утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь № 67 от 11.07.2011 г. Нормы разработаны расчетно-аналитическим методом с учетом конструктивных параметров оборудования и установленными правилами его эксплуатационно-технического обслуживания. Нормы времени приведены в человеко-часах и рассчитаны на количественный состав исполнителей с учетом их квалификации, необходимой для выполнения представленных в сборниках работ. Изменения количества и квалификации исполнителей работ не может служить основанием для изменения разработанных норм времени. В нормах времени учтены трудозатраты на выполнение основных операций в составе работ. Второстепенные, как правило, не приводятся, но выполнение их обязательно. На работы не предусмотренные сборниками, применяются нормы времени на аналогичные виды работ с поправочным коэффициентом, согласованным с «Заказчиком», или дополнительно разрабатываются местные нормы времени с последующим их утверждением в установленном порядке. При внедрении на предприятии более современной, чем предусмотрено разработанными нормами, организации труда и технологии производства работ, повышающих производительность труда, данные нормы времени следует корректировать с применением метода технического нормирования и вводить в установленном порядке как местные нормы времени.

**Энергоэкономический анализ в системе энергетического менеджмента
промышленных предприятий**

Лапченко Д. А.

Белорусский национальный технический университет

Энергоэкономический анализ – основной элемент в системе энергетического менеджмента, в процессе которого определяются основные показатели использования топливно-энергетических ресурсов и на основе оценки потенциала энергосбережения выявляются возможности повышения эффективности деятельности предприятия. Алгоритм проведения энергоэкономического анализа включает несколько этапов.

На первом этапе оценивается динамика изменения затрат предприятия, и основное внимание уделяется динамике энергетических как в совокупности, так и отдельно на производство продукции и обслуживание оборудования, цехов и административных зданий.

На втором этапе анализируются показатели энергетических затрат в натуральном выражении, изучается динамика энергозатрат по их видам с целью определения уровня энергоэффективности работы предприятия за анализируемый период времени.

На третьем этапе предполагается проведение аналитической работы по оценке энергопотребления предприятия в разрезе подразделений, процессов и оборудования. На этом этапе целесообразно построение моделей влияния внутренних и внешних факторов на объем энергопотребления и сценариев изменения объемов потребления энергоресурсов с учетом осуществления энергосберегающих мероприятий.

В процессе осуществления четвертого этапа анализируются основные производственные и финансово-экономические показатели деятельности предприятия и устанавливается влияние на их динамику различных внешних и внутренних факторов, включая энергетические.

На пятом этапе анализа проводится оценка норм потребления энергетических ресурсов на производство продукции предприятия, в результате которой устанавливаются виды наиболее энергоемкой продукции и влияющие структурные сдвиги в объеме производства на энергопотребление.

На шестом этапе устанавливаются дополнительные факторы, оказывающие влияние на показатели эффективности энергопотребления, что позволяет определить резервы повышения энергоэффективности.

Заключительный этап энергоэкономического анализа направлен на решение различных задач стратегического управления для достижения запланированных показателей энергоэффективности предприятия.

Энергетическое строительство

**Определение оптимальной толщины газовой прослойки
вертикальных стеклопакетов для зданий с большой площадью
светопрозрачных конструкций**

Шибeko A. C.

Белорусский национальный технический университет

Сопrotивление теплопередаче стеклопакетов, как и любой другой ограждающей конструкции, складывается из сопrotивлений теплообмену у внутренней и наружной поверхностей, а также термического сопrotивления, которое, в свою очередь, определяется суммой термических сопrotивлений стёкол и замкнутых газовых прослоек. Так как толщина стёкол невелика (обычно 4–6 мм) и коэффициент теплопроводности достаточно высок составляет около 1 Вт/(м·К), то термического сопrotивление стеклопакета определяется в основном сопrotивлением газовых прослоек, которое обратно пропорционально сумме коэффициентов конвективного α_k и лучистого α_d теплообмена. Так как для заполнения межстекольного пространства используют одно- и двухатомные газы, не поглощающие тепловое излучение, то можно заключить, что толщина прослойки оказывает влияние только на конвективный теплообмен в газовом пространстве. Коэффициент конвективного теплообмена рассчитывается исходя из критерия Нуссельта Nu, который определяется по критериальным уравнениям в зависимости от числа Рэлея Ra. Для условий естественной конвекции предложен ряд уравнений, однако представляющими наибольший интерес являются приведённые в СТБ EN 673–2014 «Стекло в строительстве. Определение коэффициента теплопередачи (значения U). Метод расчёта» и в статье Дж. Райта. При расчёте коэффициентов конвективного теплообмена в определённом диапазоне наблюдается их минимальное значение. Толщина межстекольного пространства, при которой α_k принимает минимальное значение, является оптимальной для данного газового заполнения. Для определения оптимальной толщины были произведены расчёты со следующими граничными условиями: температура внутреннего воздуха плюс 20°C, наружного – минус 20°C. Средняя температура газа в однокамерном стеклопакете принималась 0°C, в двухкамерном – зависела от положения камеры: для внутренней – плюс 10 °C, наружной – минус 10 °C. В результате были получены значения оптимальных толщин для газовых прослоек, заполненных осушённым воздухом, инертными газами (аргон, криптон, ксенон) и углекислым газом. Анализ экспериментальных данных показал, ближе к действительным получаются значения, определённые по зависимостям, предложенным Дж. Райтом.

УДК 502.1

**Необходимость внедрения в учебный процесс новой дисциплины
«Экологическое или "зеленое" строительство» для подготовки
специалистов строительного профиля**

Бракович И. С.

Белорусский национальный технический университет

Столкнувшись с нарастающей угрозой глобального изменения климата, истощением природных ресурсов и коллапсом мировой экосистемы, в настоящий момент мировая строительная индустрия находится на этапе беспрецедентной проверки на прочность. Дело в том, что здания всего мира используют около 40 % всей потребляемой первичной энергии, 67 % всего электричества, 40 % всего сырья и 14 % всех запасов питьевой воды, а также производят 35 % всех выбросов углекислого газа и чуть ли не половину всех твердых городских отходов.

В связи с этим, на мировом уровне появилось понятие «зеленое» строительство или по-другому экологическое, которое направлено на снижение потребления энергетических и материальных ресурсов, а также на сокращение пагубного воздействия строительной деятельности на здоровье человека и окружающую среду.

Экологическое строительство («зеленое» строительство) – это практика строительства и эксплуатации зданий, целями которой является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания, сохранение и повышение качества зданий и комфорта их внутренней среды с сокращением влияния строительства на окружающую среду и здоровье человека.

В высших учебных заведениях Российской Федерации уже внедрены в учебный процесс дисциплины, связанные с экологическим строительством и экологической сертификацией как строительных материалов, так и самих зданий. Для БНТУ подготовлено обоснование по включению в учебный план новой дисциплины «Экологическое строительство», которое включает примерный тематический план дисциплины, состоящий из 10 основных тем, рассчитанный на 34 часа лекций и 16 часов практических занятий. Форма контроля знаний – экзамен. Такая дисциплина должна быть внедрена в учебный процесс всех специальностей строительного профиля. Следующим этапом развития процесса внедрения «зеленого строительства» является разработка и внедрения системы экологической сертификации строительных материалов и самих зданий, что потребует и соответствующей подготовки специалистов.

**Производство композиционных топливных пеллет
из болотной биомассы**

Емельянов Н. А., Кундас С. П.

Белорусский национальный технический университет

Беларусь является одной из ключевых стран в Европе по площади территории, занимаемой болотами, и, соответственно, по степени влияния на глобальные процессы изменения климата вследствие уменьшения числа неосушенных болот. Как следует из мирового и отечественного опыта выброс парниковых газов с территории болот вследствие окисления торфа и пожаров можно существенно уменьшить путем восстановления торфяников в максимально первозданном виде с естественным выращиванием или культивированием болотной растительности, например, тростника.

В работе рассматривается одно из направлений решения указанной проблемы – использование болотной растительности с повторно заболоченных торфяников в энергетических целях, что позволяет решить энергетические проблемы местных сообществ, а при широком распространении опыта, внести существенный вклад в обеспечение энергетической и экологической безопасности нашей страны.

В рамках международного проекта «Энергия болот» обоснована возможность использования болотной биомассы для производства топливных пеллет и брикетов. В плане реализации результатов проекта на ОАО «Торфобрикетный завод Лидский» разработана и введена в эксплуатацию линия по производству композиционных топливных пеллет на основе смеси торфа и болотной биомассы.

Разработанная технология включает два этапа: уборка болотной растительности и непосредственно ее использование в производстве пеллет. Учитывая высокую увлажненность повторно заболоченных территорий, процесс уборки потребовал применение специальной сельскохозяйственной техники с повышенной проходимостью, в частности, трактора МТЗ со сдвоенными колесными парами и необходимыми прицепными агрегатами, а также облегченного комбайна Fortschritt 285 немецкого производства, который также установлен на сдвоенные передние колесные пары. Для изготовления композиционных пеллет применена интегрированная брикетно-пеллетная линия, включающая мобильный комплекс для производства торфяных брикетов (модель БКТ-3000, РФ), и пеллетную линию SSGL-1 (Литва), отработаны технологические режимы их совместного функционирования.

**Энергообеспечение сельских поселений на основе
возобновляемых источников энергии**

Богачёв М. Н., Кундас С. П.

Белорусский национальный технический университет

Мировой тенденцией в развитии энергетики является все более широкое использование возобновляемых источников энергии, что связано с истощаемостью и экологическими проблемами углеводородных энергетических ресурсов. Возобновляемые источники энергии по состоянию на 2016 год обеспечивают 19,3 % мирового энергопотребления, из которых 9,1 % составляет биоэнергия.

Биомасса в различном виде в настоящее время является основным возобновляемым источником энергии в мире, в том числе и в Республике Беларусь (95 %). Особенно перспективным является использование биоэнергии в сельской местности, где имеются большие запасы биосырья и отходов сельскохозяйственного производства.

Рассмотрен опыт Германии в создании, так называемых «биоэнергетических деревень» – сельских поселений которые обеспечивают свои энергетические потребности (не менее 50 %) за счет возобновляемых источников, прежде всего биоэнергии (котельные на древесном топливе, биогазовые установки и др.). Показано, что чаще всего биоэнергетические установки находятся, как минимум, в частичной собственности потребителей тепла или фермеров района, которые максимально заинтересованы в их эффективном использовании.

Определены ориентировочные показатели развития биоэнергетических деревень: сроки реализации, инвестиции, необходимые площади лесных и пахотных угодий и т. п. На основе полученной информация была рассмотрена возможность реализации аналогичных проектов на территории Республики Беларусь (на основе агрогородков), определены основные проблемы и перспективы их создания в текущей экономической ситуации. Показано, что для успешной реализации таких проектов требуется:

- финансовая и законодательная поддержка со стороны государства;
- информационная работа с населением для повышения интереса к идее создания биоэнергетических деревень;
- подготовка квалифицированных кадров;
- развитие производства отечественного оборудования возобновляемой энергетики.

**К вопросу об учете тепла в домах, оснащенных системами
отопления с поквартирной разводкой**

Лешкевич В. В., Черванёва Е. А., Якимович Д. Д.
Белорусский национальный технический университет

От жильцов домов с системами отопления с поквартирной разводкой, оборудованных индивидуальными счетчиками учета тепла, нередко поступают жалобы как на низкую температуру воздуха в помещениях, так и на большой расход тепла на отопление. В большинстве случаев причинами являлись более низкие значения температур внутреннего воздуха в смежных квартирах.

Для оценки масштабов перетока тепла между смежными квартирами нами был выполнен расчет: для 1-комнатной и 3-комнатной квартир типового панельного многоэтажного здания, определены теплопотери через наружные стены и оконные заполнения, а, кроме того, и через внутренние стены и перекрытие в смежные квартиры. Расчеты выполнены при сопротивлении теплопередаче наружных стен $3,2 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$, оконных заполнений $1,0 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для средней температуры отопительного периода.

При средней разнице температур воздуха в смежных квартирах в $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$, для 1-комнатной квартиры теплопотери возросли: в 1,33 раза (смежная квартира на этаже), в 1,54 раза (смежная квартира выше или ниже этажом), для 3-комнатной квартиры потери теплоты возросли: в 1,26 раза (смежная квартира на этаже), в 1,81 раза (смежная квартира выше или ниже этажом).

При средней разнице температур воздуха в смежных квартирах в $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$, для 1-комнатной квартиры теплопотери возросли: в 1,66 раза (смежная квартира на этаже), в 2,09 раза (смежная квартира выше или ниже этажом), для 3-комнатной квартиры потери теплоты возросли: в 1,52 раза (смежная квартира на этаже), в 2,62 раза (смежная квартира выше или ниже этажом), что согласуется с результатами натурных исследований жилых домов.

Такая ситуация является результатом отсутствия теплоизоляции ограждающих конструкций внутреннего контура квартир, без которого экономия тепла одними жильцами будет выполняться только за счет других. Устройство такого теплоизоляционного слоя в домах КПД потребует полной замены парка форм и проектов зданий.

Единственным приемлемым решением сложившейся ситуации является введение оплаты за отопление по показанием общедомового счетчика тепла, пропорционально площадям квартир.

Повышение энергоэффективности при формообразовании зданий

Рутковский М. А.

Белорусский национальный технический университет

Проектирование здания включает в себя учет комплекса факторов, совокупная реализация которых позволяет существенно повысить энергоэффективность здания. Основное потребление годового количества энергии в здании приходится на отопление, охлаждение, внутреннее освещение. Традиционно, для снижения энергопотребления здания, а вместе с ним и эксплуатационных затрат, используются энергосберегающие мероприятия и выбор эффективных инженерных систем, однако можно снизить энергопотребление здания путем грамотного проектирования архитектурно-планировочных решений. Энергопотребление здания следует рассматривать в годовом цикле. Корректный выбор формы и размеров здания в летний период дает возможность уменьшить воздействие солнечной радиации на оболочку здания, что влечет снижение затрат энергии на охлаждение. В холодный период следует уменьшать теплопотери здания, т. е., снижать энергозатраты на систему отопления. Изменение формы, размеров здания с целью оптимального учета влияния климата в его энергетическом балансе могут и не требовать изменения площадей или объема здания – они могут сохраняться постоянными.

Для уменьшения теплопотерь при сохранении внутреннего объема здания следует подбирать такую форму здания, которая даст минимальную площадь поверхности ограждающих конструкций. Коэффициент компактности здания (повсеместно применяется в Европейской практике проектирования) представляет собой отношение общей площади поверхности наружных ограждающих конструкций здания к заключенному в них объему. Более энергоэффективные здания имеют меньший коэффициент компактности. Однако сравнивать коэффициенты различных зданий можно только в случае одинакового масштаба. Реальные же здания зачастую имеют более сложные формы, оценить которые можно только путем компьютерного моделирования.

Большое влияние на энергетические характеристики здания оказывает влияние сложность поверхности фасада здания. Изломы, выступы, впадины, помимо увеличения площади поверхности, добавляют большее количество углов, что приводит к увеличению энергопотребления. Необходимо стремиться к более простой форме здания. И такие элементы, как незадымляемые лестничные площадки, лоджии, мусоропроводы следует проектировать не ухудшая выбранную оптимальную форму здания.

Проектирование и аэродинамические испытания систем вентиляции противодымной защиты

Борухова Л. В., Сёмуха В. А.

Белорусский национальный технический университет

Системы вентиляции противодымной защиты имеют большое значение. По данным МЧС РБ в 2017 году произошло 5 307 пожаров, в которых погибло 495 человек.

В июне 2013 г. в Республике Беларусь вступил в силу ТКП 45-4.02-273–2012 «Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции. Строительные нормы и правила проектирования». Анализ нового ТКП показал, что внесены следующие изменения:

а) высота здания, при которой предусматривается система вытяжной противодымной вентиляции, увеличена с 26,5 до 30,0 м;

б) радиус действия дымового клапана увеличен с 15,0 до 20,0 м;

в) изменена формула расчёта поступления воздуха в дымовую шахту через закрытые дымовые клапаны и дыма через открытый дымовой клапан на нижнем этаже. В прежней редакции $G = G_k \cdot 0,5 \cdot (N - 1) + G_d$. В новой редакции $G = (G_{k1} + G_{k2}) \cdot 0,5 \cdot (N - 1) + G_d$.

Требования к системам вентиляции противодымной защиты снижены для уменьшения стоимости проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. В то же время снижаются условия безопасности пребывающих людей.

При аэродинамических испытаниях важна точность в измерениях расхода удаляемого воздуха. Как показывает практика проведения испытаний, расходы воздуха в различных сечениях дымового клапана различаются. Нормы пожарной безопасности не устанавливают сечение для проведения испытаний. Целью экспериментального исследования является нахождение сечения в теле дымового клапана, наиболее точно отображающего значение расхода удаляемого воздуха.

Измерения производились поверенным термоанемометром с крыльчаткой testo 410-1 на срезе дымового клапана и на расстояниях 0,05 и 0,10 м от него. Анализ полученных данных показывает, что значения расхода воздуха отличаются на 11–24 % от первоначального.

Для оценки достоверности результатов экспериментального исследования необходимо произвести расчёт неопределённости расхода воздуха для систем вентиляции противодымной защиты.

Анализ эффективности систем вентиляции чистых помещений

Борухова Л. В., Горячкина М. А.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время наблюдается рост потребности в чистых помещениях все более высокого качества. Они широко применяются в различных отраслях промышленности: электронной, оптической, радиотехнической, производстве лекарственных средств, продуктов питания и в лечебных учреждениях. Особая роль в обеспечении этих условий отводится системам вентиляции и кондиционирования воздуха. Важной характеристикой чистого помещения является его класс. Согласно ГОСТ ИСО 14644-1-2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды» чистые помещения разделяются на 9 классов чистоты. Для фармацевтической промышленности существуют специализированные системы классификации чистых помещений, которые регламентируются правилами GMP (Good Manufacturing Practice). Согласно правилам GMP выделяют четыре типа зон – зоны типа А, В, С, D. Зона А предназначена для проведения критических операций в асептических условиях, зона В - для случая асептической подготовки, зоны С и D используются для менее ответственных стадий производства стерильной продукции

Правильная организация воздухообмена является одним из решающих факторов, определяющих эффективность чистых помещений. Воздушный поток должен уносить из помещения все частицы, которые выделяются людьми, оборудованием и материалами, при этом не должно быть застойных зон. Существует две схемы организации воздухообмена – с односторонним и неодносторонним потоком. В чистых помещениях класса 5 ИСО и более чистых используется односторонний поток воздуха, в помещениях классов 6 ИСО, 7 ИСО и 8 ИСО – неодносторонний.

Чистые помещения очень дороги в эксплуатации. Стоимость системы циркуляции воздуха пропорциональна расходу воздуха. В стандартах по чистым помещениям указаны завышенные значения кратностей воздухообмена, а прямое следование этим рекомендациям может привести к неэффективным решениям. Достичь требуемых классов чистоты возможно при меньших значениях кратностей воздухообмена. Цель исследования заключается в сравнительном анализе использования рекомендаций стандартов и расчетных методик, а также оценке эффективности систем вентиляции чистых помещений при использовании рекомендаций стандартов и использовании расчетных методик на примере чистого помещения фармацевтической промышленности.

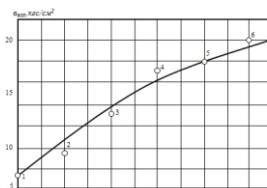
Факторный анализ брикетирования древесно-растительных отходов с вязкими нефтесодержащими отходами

Хрусталёв Б. М., Пехота А. Н.,

Белорусский национальный технический университет

Проблемой комплексного использования в нашей стране древесно-растительных отходов (ДРО) является: 1) отсутствие доступных технологий по переработке сырья с повышенной влажностью, окислением, содержанием нефтепродуктов (например, промасленные опилки) и с примесями; 2) существующие технологии допускают к применению один вид сырьевого источника; 3) повышенные требования к морфологическому составу, подготовке и другим технологическим операциям.

Многокомпонентное брикетирование (МКБ) – один из доступных способов переработки древесно-растительных и вязких нефтесодержащих отходов в твердое топливо. Проведенные исследования позволили определить зависимость прочности брикетов от изменения соотношения ДРО и нефтесодержащих компонентов в составе твердого топлива (рисунок).



1 – солома 100%; 2 – солома 60%, опилки 20%, нефтешлам 20%;
3 – солома 45%, опилки 25%, нефтешлам 20%; 4 – солома 25%, опилки 45%, нефтешлам 20%;
5 – солома 20%, опилки 60%, нефтешлам 20%; 6 – солома 10%, опилки 70%, нефтешлам 20%.

Влияние компонентного состава древесно-растительных и нефтесодержащих отходов на механическую прочность брикетов

К основным преимуществам использования ДРО в МКБ следует отнести: а) повсеместное наличие древесных, сельскохозяйственных и нефтесодержащих отходов; б) разработанная авторами технология многокомпонентного влажного брикетирования исключает самовоспламенение нефтесодержащих отходов; в) возможность использования насыщенных нефтепродуктами опилок; г) продолжительное ресурсообеспечение местных производств многокомпонентного твердого топлива; д) формирование рынка по использованию ДРО в энергетических целях, что позволяет эффективно использовать их в системе централизованного теплоснабжения.

Теплотехническая оценка применения разогретых заполнителей в технологии производства цементобетонных покрытий

Сизов В. Д.

Белорусский национальный технический университет

Для разработки основных технологических принципов использования предварительно разогретых заполнителей при изготовлении наружных ограждающих конструкций необходимо в первую очередь определить время выравнивания температур фракций заполнителя и массива остальной части бетона, которое покажет, с какой начальной температуры необходимо начинать тепловлажностную обработку (ТВО) изделий.

Время охлаждения фракций определяется как для тела классической формы в виде шара при ГУ I рода. Например, для фракций $\varnothing = 35$ мм график зависимости средней температуры от времени имеет вид (рис. 1). Для определения времени прогрева массива бетонной смеси между фракциями заполнителя была разработана физическая модель объема бетонной смеси железобетонного изделия, из которой видно, что среднее межзерновое пространство $\delta \approx 7$ мм, а расчет повышения его средней температуры представлен на графике (рис. 2).

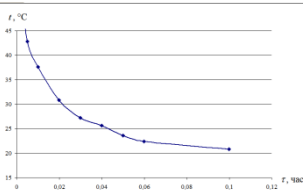


Рис. 1

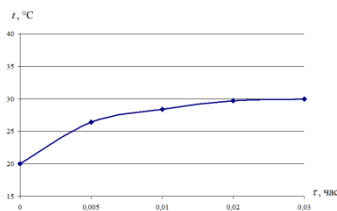


Рис. 2

Построенные графические зависимости показывают, что в течение ≈ 2 минут средняя температура фракций заполнителя и массива бетонной смеси сравниваются и достигают средней температуры ≈ 30 °C, что позволяет повысить начальную температуру при ТВО примерно на 10 °C и дает экономии в общем расходе тепловой энергии \approx на 15 ÷ 20 %.

Полученные значения величин снижения средних температур фракций заполнителей диаметром 35 мм и повышения средней температуры бетонной смеси наглядно показывают преимущества использования предварительного разогрева заполнителей.

Применение инструмента моделирования “EnergyPlan” при разработке вариантов введения ВИЭ для белорусских регионов

Станецкая Ю. А., Муслина Д. Б.

Белорусский национальный технический университет

Использование инструмента математического моделирования “EnergyPlan”, созданного Исследовательской группой по устойчивому энергетическому планированию в Ольборгском университете (Дания) позволяет упростить задачу технико-экономической оценки эффективности введения инновационных технологий на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Программное обеспечение “EnergyPlan” моделирует долгосрочные энергетические сценарии, учитывая уже существующие мощности исходя из графиков нагрузок энергосистемы по тепловой и электрической энергии с учетом выработки энергопотоков от различных энергоисточников, а также позволяет учесть транспортный и промышленный сектор. Таким образом, “EnergyPlan” рассматривает три основных сектора энергетической системы: теплоэнергетику, электроэнергетику и транспорт. При разработке сценариев необходимо руководствоваться определенным алгоритмом действий:

1. Создать сценарий-основу, путем введения данных по спросу тепловой и электрической энергии, мощностям, коэффициентам эффективности существующих энергоисточников, транспорту и т. д.
2. Оценить потенциал региона по различным возобновляемым источникам энергии, таким как энергия ветра, солнца, гидроэнергия, использование биомассы, биогаза, а также промышленных и муниципальных ВЭРов, бытовых отходов и ввести эти данные в зависимости от поставленных задач.
3. Выбрать стратегию анализа из предложенных 4-х вариантов.
4. Создать несколько сценариев, оценить и проанализировать их.
5. Выбрать наиболее оптимальный вариант.

Смоделированные сценарии выглядят в виде спецификаций с результатами анализа ввода предполагаемых мощностей от ВИЭ, годовых графиков спроса и потребления тепловой и электрической энергии от различных энергоисточников, диаграмм. Это позволяет увидеть и оценить перспективу возможных изменений энергосистемы с учетом ввода «зеленых технологий» и увеличения доли потребляемых местных видов топлива, учесть тенденции в сфере цен на топливо, выбрать тип установок по выработке тепловой и электрической энергии, оценить и проанализировать экологическую составляющую.

Моделирование и оптимизация микроклимата в пневмоопорных объектах

Акельев В. Д., Дикун О. В.

Белорусский национальный технический университет

К важнейшим составляющим микроклимата относятся тепловлажностный, воздушный, световой, акустический режимы, которые зависят от климатических факторов, ориентации, планировки, оболочек объектов, инженерного оборудования. Эти факторы изменяются во времени и тепловое равновесие даже отапливаемых или кондиционируемых помещений практически никогда не достигается.

К недостаткам пневмоопорных конструкций можно отнести необходимость постоянно поддерживать избыточное давление воздуха под оболочкой, подбор оптимальных параметров микроклимата, большие теплопотери в зимний период и избыточные теплопоступления летом.

Для поддержания в сооружениях данного типа летом постоянной температуры следует во время максимальных теплопоступлений удалять из объекта меньше тепла, чем поступает извне. Следовательно, возникает вопрос оптимизации микроклимата в реальных объектах. При решении данной проблемы необходим анализ методов, средств оптимального проектирования, которые позволят перейти от сравнения субъективно отобранных вариантов к оперативному анализу всех возможных решений и выбору оптимального.

Оптимальное сочетание стабилизирующих систем в пневмоопорном сооружении – основная задача, решаемая математической моделью микроклимата. Возможны два подхода к решению поставленной задачи. Первый – предполагает непосредственное применение методов теории оптимальных решений, второй – численный эксперимент с поиском оптимального состояния сложной модели на основе метода математического моделирования. Для выявления критериев оптимальности возможны следующие постановки задачи по оптимизации проектных решений объектов строительства: 1) достижение нормативного значения показателя качества при наименьших затратах; 2) достижение оптимального соотношения между показателями качества и затратами; 3) достижение максимального качества при затратах, не превышающих установленного предела.

В исследовании по данной теме принимали участие студенты факультета энергетического строительства: Лагун Е. Р., Коробыко Д. М., Бужинская А. С., Лапин А. А.

**Использование системы напольного отопления
в пневмоопорных объектах**

Акельев В. Д., Дикун О. В.

Белорусский национальный технический университет

Пневмоопорные конструкции отличает предельная легкость и компактность, высокая сборность и транспортабельность, возведение в короткие сроки без тяжелых вспомогательных приспособлений. Такие конструкции обладают высокой сейсмостойкостью, предназначены перекрывать помещения больших объемов и площадей, их можно возводить на любых грунтах и практически в любых климатических условиях. Материал оболочки имеет высокую удельную прочность и работает только на растяжение

В современных пневмоопорных объектах используется система воздушного отопления, что учитывая большие размеры сооружений и низкое сопротивление теплопередачи оболочки весьма затратно.

Исходя из этих факторов проектировщикам стоит обратить внимание на систему напольного отопления. Ее важным преимуществом является равномерное горизонтальное распределение температур и близкое к идеальному вертикальное распределение (отсутствуют зоны перегрева и холода). Обширная теплоотдающая поверхность генерирует большое количество излучаемого тепла, которое распространяется к окружающим предметам. В помещении создается наиболее оптимальный климат (температура пола колеблется в пределах 22–25 °С, а температура воздуха на двухметровом уровне составляет 19–22 °С). Использование систем напольного отопления требует тщательного расчета и экономического обоснования, что является трудоемким процессом, который также включает в себя расчет теплопотерь объекта. Вместе с тем монтаж данных систем довольно дорогостоящий и требует высокой компетенции и использования качественных материалов.

При монтаже выполняется гидроизоляция из вспененного полиуретана, в качестве греющего контура в системе применяются полимерные трубы, которые заливаются бетонным слоем толщиной не менее 45 мм.

Использование систем напольного отопления может стать хорошей альтернативой воздушному отоплению в пневмоопорных объектах, но к проектированию данных систем стоит подходить с особой точностью.

В исследовании по данной теме принимали участие студенты факультета энергетического строительства: Коцуба В. К., Девятловская Д. С., Рублик В. И., Тукай Н. Ю.

Анализ существующих методов расчета двух и трехмерных полей отопительных панелей.

¹Кравчук К. А., ²Копко В. М.

¹ООО «Современные энергосберегающие системы»
²Белорусский национальный технический университет

Отопительные панели – это отопительные приборы, большая часть теплоотдачи которых происходит за счет лучистой составляющей.

Рассматриваются типы отопительных панелей, приводится их классификация и оценивается перспективность для исследования и применения в практике на основании сравнения их преимуществ и недостатков. Наибольшей перспективой обладают плиты с трубами, заделанными в слой однородного материала многослойной конструкции. Описываются существующие методы расчета температурных полей. Акцент делается на численных методах решения задачи теплообмена, в частности с помощью компьютерных программных пакетов. Решена задача расчета и построения трехмерного температурного поля отопительной панели с помощью пакета ANSYS FLUENT. Отопительная панель в данной задаче представляет собой бетонную плиту размерами 1000×100×400 мм с заделанным в нее змеевиком из стальной трубы наружного диаметра 18 мм. Шаг змеевика равен 100 мм (межосевое расстояние). Для упрощения расчета приняты допущения:

1. Температура поверхности трубопровода змеевика равна температуре теплоносителя по оси трубы в данном сечении;
2. Отсутствуют гравитационные силы;
3. Температура поверхности отопительной панели постоянна и равна 300 К.

В результате расчета получены двухмерные и трехмерные изображения отопительной панели с распределением температуры по её объему. Изображения наглядно демонстрируют направление и интенсивность теплового потока. В ряде случайно выбранных точек панели с помощью программного пакета были сняты значения температуры с точностью до 0,001 К. Выводы. Рассчитанное температурное поле в поперечном сечении является равномерным в радиальном направлении. По длине трубы температура теплоносителя, а соответственно и наружной поверхности трубы, уменьшается с 330 до 327 К.

Температурное поле по длине трубы незначительно затухает и изотермы смещаются в направлении поверхности трубопровода на 1,4 мм.

К вопросу о восприятии учебного материала

Марищук Л. В.

Российский государственный социальный университет

Целью статьи является представление авторского взгляда на возможность оптимизации образовательного процесса, исходя из положений психологической науки и дидактических принципов Я. А. Коменского. Основными методами стали теоретико-библиографический анализ и обобщение многолетнего опыта преподавания авторов в высшей школе. В статье обсуждаются проблемы восприятия как психического процесса чувственного познания, доказывается необходимость учета при предъявлении учебного материала всех свойств восприятия. Его целостности, характеризующей связи внутри фигуры – гештальта; предметности, как противопоставления фигуры и фона; осмысленности – связи воспринимаемого с пониманием, константности – неизменности восприятия вне зависимости от освещенности и ракурса наблюдения, избирательности – значимости воспринимаемого для субъекта и апперцепции – зависимости восприятия от опыта и эмоционального состояния. Приводится ряд законов гештальта «работающих» на оптимизацию усвоения знаний, в частности «психического насыщения», требующего избегать монотонии, «последствия фигуры и фона» как проявления психологической установки. Любое дидактическое или воспитательное воздействие бессмысленно, если помимо гностической, оно не обращено к эмоциональной сфере личности. Субъект-субъектное взаимодействие предполагает обращение к последней использованием эмоциогенных воздействий, особенно, в аспекте противостояния «психическому насыщению». Представлены физиологические корреляты (соответствие «закону силы» – сильная реакция на сильный стимул, «уравнительной» – отсутствие повышения реакции, несмотря на увеличение стимуляции и «парадоксальной» – реципрокной реакции на увеличение стимуляции, стадиям нейродинамики) инвертированной V-кривой Йеркса-Додсона, модифицированной, на основании многочисленных экспериментов, В.Л.Марищуком в трапециевидную кривую, характеризующую процесс «психического насыщения» и его последствия. Поясняется, что успешность образовательного процесса детерминруется собственной познавательной активностью обучающихся мотивированных на усвоение знаний в процессе их восприятия, а познавательная потребность для человека является социализированной витальной потребностью.

О повышении эффективности образовательного процесса

Марищук Л. В.

Российский государственный социальный университет

Декларируемое педагогикой и психологией субъект-субъектное взаимодействие студентов и преподавателей зачастую остается лозунгом, вследствие того, что обучающиеся продолжают выступать в роли пассивных реципиентов учебной информации и воспитательных воздействий, будучи неподготовленными предыдущим опытом обучения к активному восприятию информации, самообразованию и самовоспитанию. Повышение эффективности образовательного процесса детерминируется адекватным целям обучения информационным его обеспечением.

Помимо педагогических проблем: определения содержания, объема учебных дисциплин, последовательности их изучения, не меньшую, а может быть и более значимую роль играет решение проблем психологических. Прежде всего, выявление механизмов усвоения потребной информации, а значит функционирования психических познавательных: ощущения, восприятия, внимания, памяти, мышления и речи; эмоционального и волевого процессов.

Повышение эффективности образовательного процесса определяется двумя составляющими, первая из которых детерминируется усилиями обучающихся, вторая – познавательной активностью, как совокупностью мотивационно-потребностных, эмоционально-волевых, типологических и гностических особенностей обучающихся. Его осуществление в высшей школе, имплицитно предполагает высокую квалификацию профессорско-преподавательского состава, определяемую его профессиональной компетентностью; применением эффективных методов обучения, в том числе интерактивных; использованием в преподавании последних достижений науки в избранной области знаний, и, что жизненно необходимо, результатов собственных исследований преподавателей. Все достижения первой составляющей, нерезультативны без актуализации второй – собственной познавательной активности как проявления одноименной потребности обучающихся. Последняя стимулируется адекватным восприятием учебного материала, предъявляемого с учетом его свойств (целостности, предметности, осмысленности, константности, избирательности и апперцепции), способствующим мыслительной и мнемической деятельности – проявлению внутреннего ее плана, подкрепляемым мотивированностью учения.

УДК 620.92; 620.97

**Экспериментальное исследование аэродинамики и теплообмена
в непроходных непродуваемых каналах теплотрасс на базе модели
в программном комплексе Ansys**

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет

Актуально исследование продувки непроходных каналов теплотрасс с целью обеспечения должного состояния изоляции, нахождения нагрева воздуха за счет теплоты, отводимой от трубопроводов сетевой воды и от стенок канала теплотрассы, которые в данном случае играют роль развитого готового грунтового теплообменника.

Исследования проводились на базе широко распространенного в мире для решения подобных задач программного комплекса ANSYS Workbench, пакет ANSYS Fluent – полноценный CFD – пакет, в состав которого входят пре- и постпроцессоры, решатель и отдельный сеточный генератор ANSYS Meshing. В модуле DesignModeler разработана 3D-модель установки. Геометрия канала: размеры канала, диаметр трубопроводов и изоляции, расстояния между опорами взяты из справочников. Для решения задачи проведена дискретизация расчетной области. Размер элементов сетки был выбран так, чтобы обеспечивать приемлемое качество сетки и позволял полностью разрешать пограничный слой на трубопроводах и стенках канала, который в случае выбранной модели вязкости $k-\omega$ SST в ANSYS Fluent требует значение параметра Y^+ не больше 30. Модель вязкости SST (Shear Stress Transport – модель переноса сдвиговых напряжений), представляет собой комбинацию $k-\epsilon$ и $k-\omega$ моделей: для расчета течения в свободном потоке используются уравнения $k-\epsilon$ модели, а в области вблизи стенок – уравнения $k-\omega$ модели. Тем самым при расчете потока, в общем, дает хорошие результаты в частности, как при отрыве потока, так и при больших градиентах давления.

Исследования проводились в соответствии с методикой планирования эксперимента на основе шестифакторного центрального композиционного ротatableльного плана второго порядка. Варьируемыми факторами приняты различные длины продуваемого канала (20–100 м), размеры канала, скорости потока воздуха (5–20 м/с), температуры сетевой воды, грунта и наружного воздуха. В качестве откликов приняты суммарный поток теплоты к воздуху, а также от сетевой воды и от грунта, потери напора воздуха. В результате получены температурное поле вокруг канала и трубопроводов, распределение давлений и линии тока воздуха для дальнейшей обработки и анализа методами планирования эксперимента.

Микроклимат ледовых арен

Ливанский Д. Г.

Белорусский национальный технический университет

Создание требуемого микроклимата на ледовой арене довольно сложная задача, так как в одном объеме нужно поддерживать две температурные зоны: одну зону, более холодную, на ледовой площадке, другую, более теплую, на местах для зрителей. Также на микроклимат оказывают влияние: потолок, стены, лампы освещения, мультимедийный экран, системы вентиляции и кондиционирования воздуха, количество зрителей и ледовая площадка. Эти системы, оборудование и конструктивные элементы участвуют в сложном теплообмене внутри ледовой арены, который можно разделить на лучистый и конвективный.

В литературе можно найти несколько рекомендуемых схем воздухо-распределения для ледовых арен. Первая схема, «сверху-вверх» – подача и удаление воздуха осуществляются с верхней зоны. Вторая, «сверху-вниз» - подача воздуха производится в верхней зоне, а удаление воздуха предусматривается из нижней зоны, через щели расположенные в бортах по периметру ледовой площадки. Треть – «смешанная», объединяет первую и вторую схемы.

Например, на Адлер-арене в Сочи использована схема подачи воздуха «сверху-вверх» для зоны ледового поля и схема «снизу-вверх» для зоны с местами для зрителей.

Для подачи воздуха обычно используются вихревые и сопловые воздухо-распределители, а также диффузоры с двойным направлением подачи воздуха, по горизонтали и вертикали.

В случае организации воздухообмена по схеме «сверху-вверх» можно выделить три температурные зоны по высоте над ледовым полем. Первая температурная зона располагается над поверхностью льда и занимает пространство высотой ≈ 1 м, так называемая «холодная воздушная подушка». В этой зоне температура воздуха линейно растёт от -6°C до $+6\dots+14^{\circ}\text{C}$, в зависимости от требуемой температуры воздуха над ледовой площадкой на высоте 1,5 м. Вторая зона располагается над первой и занимает основной объем воздушного пространства ледовой арены. В этой зоне температура изменяется незначительно и в основном за счет температуры приточного воздуха. Третья зона располагается под потолком и занимает пространство высотой $\approx 0,5-1$ м. Она сформирована ниспадающими конвективными потоками от охлажденного потолка, за счет лучистого теплообмена с ледовой площадкой.

Использование каналов для развития туристической инфраструктуры на примере Милана

Гатилло А. С.

Университет Милана-Бикокка

Туризм не является застывшей отраслью экономики, он постоянно развивается и одна из особенностей его развития в настоящих условиях – использование промышленных объектов в качестве основных или вспомогательных объектов для туризма.

К таким объектам, способствующим образованию и развитию туристических потоков, относятся такие гидротехнические сооружения, как каналы различного назначения.

В качестве примера можно рассмотреть каналы Милана. Первые из них были выкопаны в далеком 1156 году в качестве оборонительных защитных сооружений – рвов, заполненных водой. В дальнейшем по ним перевозили строительные материалы, грузы, людей (каналы соединены с реками и озерами в регионе Ломбардия), вода использовалась для полива, для работы водяных мельниц. В соответствии с изменением потребностей, частично каналы оказались закрыты плитами, по которым прошли автодороги.

Уменьшилось их использование как объектов хозяйствования, но они оказались востребованы как антураж для развития туристической инфраструктуры (рестораны, магазины, модные бутики, арт-галереи). Кроме того, загородные участки каналов оказались застроены вилами, они стали любимым местом отдыха миланцев.

С этой точки зрения очень интересно рассмотреть опыт строительства каналов различного назначения в Беларуси и возможности использования их для развития туризма.

Беларусь находится на водоразделе бассейнов двух морей – Балтийского и Черного. Поэтому с давних времен этот аспект был очень интересен для создания водного пути из одного моря в другое. Безусловно, все это рассматривалось с точки зрения перевозки грузов. В разные эпохи такие пути существовали и даже интенсивно использовались. Одним из первых был, возможно, водный путь Днепр – Припять – Ясельда – притоки Немана – Неман. И таких путей можно насчитать несколько. В настоящее время наиболее сохранившимся является Днепро-Бугский водный путь.

Если сочетать возможности путешествий и развитие туристической инфраструктуры по водным путям с богатством природных ландшафтов Беларуси, использование каналов различного назначения может быть перспективным как в качестве туристической структуры, так и как отдельный туристический объект.

Работа малой ГАЭС в составе комплексной электростанции¹Смирнов А. И., ²Гатилло С. П.¹НПО «Малая энергетика»²Белорусский национальный технический университет

По мере увеличения объемов электроэнергии, поставляемой в электроэнергосистему возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) выявляется необходимость регулирования выдаваемой ими мощности в течение суток. Это связано, с одной стороны, с тем, что выработка электроэнергии от ВИЭ зависит от наличия и величины ВИЭ в каждый момент времени, а с другой стороны, при ее большом удельном весе необходимо иметь под рукой в каждый момент времени достаточно большой запасной резервный источник для регулирования. В первую очередь, конечно, это касается источников, питаемых ветровой и солнечной энергией в связи с непредсказуемостью их поведения. Наилучшим выходом было бы иметь в составе электроэнергосистемы гидроаккумулирующую электростанцию (ГАЭС) мощностью несколько сотен мегаватт. Если ее нет, то электроэнергосистема может пойти на ограничение поставки электроэнергии от отдельных мощных (от 10 МВт и выше) электростанций, использующих ВИЭ.

Для того, чтобы не прекращать выработку электроэнергии в те часы, когда она не затребована электроэнергосистемой, такие производители должны будут включить в состав своей комплексной электростанции аккумулятор того или иного типа.

Одним из таких приемлемых решений может быть строительство в составе комплексной электростанции малой ГАЭС соизмеримой мощности (порядка 10 МВт и более).

Для строительства комплексной электростанции с таким составом оборудования должны быть найдены или созданы благоприятные условия, в первую очередь, топографические. Это связано с тем, что для работы ГАЭС должен быть создан перепад уровней в верховом и низовом бассейнах ГАЭС, а объем бассейнов должен быть достаточным для того, чтобы накапливать необходимый для регулирования мощности объем воды.

В этом случае при включении в состав такой электростанции блоков, использующих энергию ветра (ВЭУ), солнца (СЭС), естественных водных потоков (ГЭС), а также предлагаемой ГАЭС расчетной мощности при ограничении энергосистемой суточного объема принимаемой электроэнергии все образующиеся излишки энергии будут в виде воды накапливаться в верховом бассейне и превращаться в поставляемую в энергосистему энергию в часы ее дефицита.

Сравнительный анализ экономики технологий генерации электричества

Гатилло С. П.

Белорусский национальный технический университет

По мере развития энергетического сектора выявляются новые преимущества проектирования и строительства комплексных электростанций. В первую очередь это касается электростанций, в состав которых входят энергоблоки, работающие на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ).

К основным недостаткам электростанций на ВИЭ, как известно, относится непредсказуемость выработки электроэнергии во времени. При большой удельной доле такой энергии в энергосистеме последней может быть выдвинуто требование участия таких электростанций в регулировании мощности. А это может привести к простоям и недоиспользованию природного источника энергии.

Поэтому одним из направлений развития комплексных электростанция является использование в их составе различных аккумуляторов. При значительных мощностях, как правило, чаще всего предлагается использовать в качестве такого компонента гидроаккумулирующую электростанцию (ГАЭС). Но анализ данных о стоимости технологий электрической генерации, опубликованных Bloomberg New Energy Finance дает возможность обосновать другие решения.

В 2017 году продолжилось падение стоимости ветровой и солнечной энергии, а также быстрое снижение стоимости аккумуляторов. Сочетание этих двух тенденций в ближайшее время могут создать очень большую проблему для энергетики, работающей на традиционных невозобновляемых источниках энергии.

За девятилетний период средний уровень стоимости электроэнергии в фотоэлектрической солнечной энергетике снизился на 77 %, в материковой ветроэнергетике на 38 %. Средний уровень стоимости литий-ионных батарей снизился почти на 80 %, с 1000 долларов США за кВт*ч в 2010 году до 209 долларов США за кВт*ч в 2017 году.

Примерно такой же уровень цен может ожидаться для проточных аккумуляторов, технологически доработанных в последние годы рядом производителей. В связи с особенностями их эксплуатации (возможность осуществления длительных циклов полной зарядки-разрядки в течение суток, а также гарантия работы в течение 20 лет без уменьшения коэффициента полезного действия), их применение совместно с литий-ионными в составе комплексной электростанции может быть очень перспективным.

Характеристика водохранилища «Меркуловичи»

Круглов Г. Г., Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

Водохранилище «Меркуловичи» возведено на р. Чечера в 1972 г. по проекту РУП «Белгипроводхоз» и предназначено для орошения земель, рыбо-разведения и культурно-бытовых нужд населения д. Меркуловичи. Водохранилище русловое, сезонного регулирования. Регулирование р. Чечера проводилось с целью аккумуляции воды весеннего половодья и подачи ее на увлажнение и орошение земель на площади 338 га. Основные параметры водохранилища: длина – 2,75 км; максимальная ширина – 0,62 км; средняя ширина – 0,29 км; средняя глубина – 1,38 м; отметка нормального подпорного уровня – 145,5 м; отметка уровня мертвого объема – 144,75 м; площадь зеркала водохранилища при НПУ – 87,8 га; полный объем – 1,255 млн. м³; полезный объем – 0,5 млн м³. Питание реки Чечера смешанное с преобладанием снегового. Площадь водосбора в створе гидроузла 50,8 км², расстояние от устья реки 43 км. Рельеф водосборной площади волнистый, распаханность территории 50 %, залесенность 1 %, заболоченность 10 %. Средний годовой сток за многолетний период в створе гидроузла 4,2 млн м³, за время половодья – 3,8 млн м³. С 1999 г., ввиду списания поливного оборудования, водохранилище используется только для нужд населения д. Меркуловичи. В результате интенсивных дождей 27.07.2009 г., когда по данным метеостанции Чечерска за сутки выпало 114 мм осадков (356 %), резко поднялся уровень воды в водохранилище и при открытом донном водовыпуске произошел подмыв фундамента башни, что привело к разрушению башни и размыву насыпи над сооружением. В нижнем бьефе над трубой произошли просадки грунта, что свидетельствует о возможном разрушении трубы. В 2005 г. РДУП «Гомельводпроект» разработал строительный проект «Ремонт р. Чечера и сооружений Чечерского района Гомельской области», согласно которому, предусматривались очистка русла р. Чечера от водной растительности по откосам и бермам и ремонт гидротехнических сооружений. Однако, как свидетельствуют акты обследования водохранилища от 18.08.2009 г., 19.01.2010 г. и 20.09.2011 г., проект не был осуществлен. В результате обследования 18.01.2009 г. рекомендовалось опорожнить водохранилище и демонтировать затворы башенного водосбора. На момент обследования 19.01.2010 г. затворы башенного водосбора не демонтированы, а уровень воды в водохранилище находился на 1,2 м ниже НПУ, на уровне образовавшихся промоин в башне водосбора. Акт обследования от 20.09.2011 г. констатировал необходимость капитального ремонта сооруженный гидроузла.

Техническое состояние сооружений водохранилища «Меркуловичи»

Круглов Г. Г., Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

На момент обследования 04.11.2017 г. земляная плотина находилась в удовлетворительном состоянии. Не отмечено размывов верхового и низового откосов плотины. Крепление верхового откоса посадкой ивняка и травой в удовлетворительном состоянии. На низовом откосе плотины размывов травяного покрова не обнаружено, нет выклинивания фильтрационного потока на низовой откос. Техническое состояние башенного водосброса № 1 в теле земляной плотины аварийное. Башня водосброса разрушена и по инициативе местных жителей окаймлена по периметру деревянным срубом, в полости между которым и башней загружены мешки с песком. В плите перекрытия башни сквозное отверстие диаметром 10–20 см, боковые стены практически разрушены, оголены арматурные сетки, в стенке у дна имеется сквозное отверстие. Закладные части затворов в виде швеллеров сильно деформированы и перемещение по ним затворов не возможно. Практически разрушена и левобережная стенка башни, арматурная сетка оголена и сильно коррозирована. Трубы башенного водосброса в нижнем бьефе получили значительную и неравномерную осадку, что видно по наклонам плит перекрытия труб, а в береговом открьлке образовалась сквозная трещина. Техническое состояние башенного водосброса № 2 под автомобильной дорогой неудовлетворительное. Поверхностный слой боковых стен башни сильно разрушен, в нем имеются глубокие каверны, арматура оголена и сильно коррозирована, служебные мостики к башне находятся в аварийном состоянии. Затворы башни водосброса № 2 перекрывают входные отверстия, а поднять их невозможно, так как они оторваны от подъемных тяг. Значительно деформированы и смещены перекрытия труб башенного водосброса № 2 в нижнем бьефе. Как видно, водосбросные сооружения водохранилища «Меркуловичи» находятся в нерабочем состоянии. Бытовой расход р. Чечера пропускается не через отверстия башенных водосбросов, а через образовавшиеся в бетоне промоины и трещины. При увеличении расхода воды в реке во время паводка произойдет подъем уровня воды в верхнем бьефе, что приведет к переливу через гребень земляной плотины и полному разрушению гидротехнических сооружений. Выполненная проверка прочности бетонных конструкций сооружений показала, что монолитный бетон башен и труб водосбросов находится в неудовлетворительном состоянии и только прочность сборных плит перекрытия труб колеблется в пределах 20–30 МПа, что соответствует классу бетона В20–В30.

Основные природные и искусственные факторы, вызывающие повреждение осушительных систем

¹Линкевич Н. Н., ¹Селезнев В. И., ²Линкевич А. Н.
¹Белорусский национальный технический университет
²УП «Минскводоканал»

Все осушительные системы сразу же после их устройства начинают подвергаться воздействию различного рода природных и искусственных факторов, влияющих на эксплуатационную надежность системы.

Основными природными факторами, вызывающими повреждения осушительных систем, являются: *гидрологические* – движение воды в открытых и закрытых системах, выклинивание грунтовых вод у оснований откосов каналов, стекание воды по откосам и др.; *биологические* – зарастание каналов, изменение степени разложения торфа и т. п.; *климатические* – действие температуры, особенно периодическое замерзание и оттаивание грунта, воздействие выпадающих капель дождя, ветер, испарение и др. На деформацию осушительных систем на болотах большое влияние оказывает осадка торфа. К группе искусственных причин, вызывающих повреждения осушительных систем, относятся все причины, связанные с бесхозяйственными действиями человека: а) устройство запруд (с целью задержания воды для полива, хозяйственных нужд и т. п.) и завалов в каналах; б) пастьба скота при не отгороженных каналах; в) перегоны и водопой скота на каналах; г) проезд через каналы сельскохозяйственной техники и подвод; д) езда по бермам, особенно в сырое время года и др., е) заваливание и засорение каналов соломой, камнями, сорняками и т. д.; ж) отсутствие должного ухода и надзора за осушительной сетью, а также причины, вызванные ошибками, допущенными при проектировании и строительстве осушительных систем. К недостаткам проектирования относится отсутствие в проектах мероприятий по укреплению каналов, предохранению их от размывания и заиляемости или несоответствия этих мероприятий инженерно-геологическим условиям (крутые и незакрепленные откосы и др.). К недостаткам строительства относятся: а) несоблюдение проектных размеров и продольных уклонов дна каналов вследствие недоборов и переборов глубины; б) недостаточно тщательное разравнивание вынутого из канала грунта; в) некачественное выполнение крепления каналов. Под влиянием этих причин, которые могут сказаться порознь или во взаимодействии друг с другом, возникают различные виды повреждений осушительных систем и обуславливают размеры и интенсивность протекания этих повреждений. Систематическое поддержание сети и сооружений в исправном состоянии обеспечивает не только нормальное действие, но и сокращает объемы ремонтных работ.

Механизм размыва грунтовой плотины при переливе

Богославчик П. М.

Белорусский национальный технический университет

Ранее на основании экспериментальных данных при исследовании резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой была разработана расчетная схема ее размыва при переливе. На основании этой схемы была разработана математическая модель, в соответствии с которой совместное решение уравнений деформации и уравнения движения потока позволяют определить уровень верхнего бьефа z , отметку гребня размываемой вставки y , и расход воды через вставку Q в любой момент времени. Предложенная модель дает хорошую сходимость с экспериментальными данными и данными других авторов. Ширина размываемого массива B в расчетных формулах – величина известная. Данное допущение справедливо в случае быстрого повышения уровня верхнего бьефа, наиболее опасного для гидроузла в условиях паводка. При медленном повышении уровня верхнего бьефа размыв начинается не по всей ширине, а в некоторой точке при $B = 0$. Образуется проран, который со временем увеличивается. Если за основу принять предложенную ранее расчетную схему, то в расчетных формулах появляется еще одна неизвестная величина – ширина потока в створе размыва (ширина переливающегося потока) B .

Существует ряд предложений по определению ширины прорана в процессе размыва. Все они были проанализированы и сопоставлены с полученной ранее на основании экспериментальных данных физической картиной размыва, которая имеет следующую особенность. Размыв по ширине происходит не только путем перехода частиц грунта во влекомое и взвешенное состояние, но и путем обрушения откосов прорана и выноса обрушивающихся масс грунта в нижний бьеф. Поэтому практически невозможно получить расчетные зависимости $B = f(t)$ на основе теории размыва, как это было при решении плоской задачи. Кроме того, при скоростях потока, значительно превышающих неразмывающие, характеристики размываемого грунта практически не влияют на процесс размыва. Поэтому нецелесообразно усложнять зависимости, описывающие подобного рода явления, так как это не дает повышения точности расчетов. В предложенную расчетную модель хорошо вписывается формула Пономарчук К.Р., которая после некоторых преобразований с учетом изложенного имеет следующий вид

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \frac{g^{0,5} (z-y)^{4,5}}{B^2 (y_1 - y)^2},$$

где y_1 – отметка гребня плотины.

Эффективность применения резервных водосбросов на малых гидроузлах

Богославчик П. М., Рам Бабу Прасад
Белорусский национальный технический университет

Из природных факторов, в наибольшей степени влияющих на безопасность гидроузлов, особо выделяется гидрологический режим рек. С ним связаны аварии, вызываемые избыточным стоком в период паводков. Максимальные расчетные расходы, на которые рассчитываются водосбросные сооружения, определяются на основании длинных рядов наблюдений. Но в последние десятилетия деятельность человека, особенно крупномасштабные мелиорации, а также изменение климата заставляют усомниться в достоверности гидрологических данных. Неопределенность в естественном гидрологическом цикле всегда имела место. В настоящее время она еще более увеличилась. Поэтому риск аварий по причине перелива воды через гребень из-за превышения расчетного расхода существует всегда. Отмеченная неопределенность создает иногда другую проблему – избыточность расчетного максимального расхода. Нередки случаи, когда водосброс за весь срок службы гидроузла ни разу не включается в работу на полную пропускную способность. То есть затраты на его строительство не оправдывают себя в полной мере. Резервные водосбросы с размываемыми грунтовыми вставками позволяют практически без дополнительных затрат решить эти проблемы – уменьшить пропускную способность основного водосброса и одновременно увеличить безопасность гидроузла в условиях паводка. Расчеты показывают, что удельные единовременные затраты на строительство водосброса с размываемой вставкой в 5–10 раз меньше, чем для водосбросов традиционных конструкций. Оптимальное соотношение расходов основного и резервного водосбросов зависит от типа основного водосброса и его стоимости. Расчет по приведенным затратам, то есть с учетом амортизационных отчислений, в которые входят затраты на восстановление размываемой вставки после ее размыва, показывает следующее. В случае автоматического основного водосброса при включении в работу резервного водосброса один раз в 20 лет (расход обеспеченностью 5 %), общая стоимость водосбросов снижается. А при сохранении исходной стоимости (без резервного водосброса) можно существенно увеличить пропускную способность резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой и, соответственно, надежность и безопасность гидроузла в условиях экстремального паводка.

Семенова Я. А.

Белорусский национальный технический университет

В большинстве случаев аварии и деформации, реконструируемых и примыкающих зданий происходят из-за недостаточно обоснованных технических решений по усилению фундаментов, упрочнению оснований, а также неправильных данных при проведении инженерно-геологических исследований грунтов оснований и техническому обследованию зданий.

Анализ аварий реконструируемых зданий показывает, что необходимо разрабатывать новые технологии производства работ и совершенствовать методы проектирования и реконструкции фундаментов усиливаемых зданий на слабых грунтах, обеспечивающих снижение трудозатрат, экономию материальных и финансовых ресурсов.

Многие факторы существенно снижают устойчивость зданий и сооружений, безопасность их эксплуатации.

В связи с этим были рассмотрены и предложены основные методы усиления оснований фундаментов существующих зданий и сооружений в условиях слабых грунтов.

1. Усиление конструкций фундаментов железобетонными обоймами.

Заключается в увеличении площади и заглублении фундамента. Такое усиление фундамента железобетонной обоймой обеспечивает экономию материалов и трудозатрат.

2. Омоноличивание фундаментов методом инъекции цементного или специальных растворов. Метод применим для восстановления кладки фундамента из таких материалов, как бутовой камень, керамический кирпич, бетон или железобетон. Предварительно в фундаменте бурятся шурфы и отверстия. В них устанавливают специальные инъекторы, через которые происходит инъекция раствора фундамента.

3. Усиление грунтов основания методом нагнетания цементного раствора под подошву фундаментов (цементацией). Метод является наиболее экономичным и щадящим для здания. Цементный раствор подается в грунт основания через трубы-инъекторы, установленные в тело фундамента. В грунте происходит образование цементного камня и уплотнение окружающего грунта.

4. Устройство свай через тело фундамента для увеличения его несущей способности. Метод позволяет усилить основание, не нарушая структуру грунта и не требуя разработки котлованов.

5. Усиление фундамента с применением плоских домкратов.

6. Усиление фундаментов дополнительными блоками, обжимающими грунты оснований при их повороте.

УДК 624.1

Экспериментально-теоретическое обоснование эффективности новых способов виброизоляции зданий и сооружений при внешнем вибродинамическом воздействии

Повколас К. Э.

Белорусский национальный технический университет

Развитие транспортной инфраструктуры городов и промышленного производства сопровождается ростом вибрационной нагрузки на конструкции зданий и сооружений, приводящим к их ускоренному физическому износу и интенсивному физиологическому воздействию на людей. С целью изучения данного влияния выполнены экспериментальные и теоретические исследования колебаний строительных конструкций.

Экспериментальная часть состояла в непосредственном измерении параметров колебаний существующих зданий до и после устройства виброизоляции.

Теоретические исследования заключались в численном моделировании указанных условий в модуле «Динамика+» ПК «LIRA».

На основе анализа полученных данных сделаны следующие выводы:

1. Наиболее эффективным способом снижения вибродинамических воздействий из рассмотренных вариантов (виброзащитный вертикальный экран в грунте из газонаполненных баллонов под давлением, усиление фундамента существующего здания сваями, устройство свайного поля между источником и приемником колебаний) при прочих равных условиях является устройство горизонтальной бетонной плиты толщиной. Величина скорости колебаний в данном исполнении снижается в 4,5 раз, что достигается гашением поверхностной волны массой бетонной плиты.

2. Замена материала гравитационной плиты с бетона на цементогрунт значительно снижает ее стоимость при сохранении эффекта поглощения поверхностных волн. Для определения оптимальных свойств цементогрунта выполнены лабораторные исследования. Установлено, что для достижения необходимого эффекта демпфирования колебаний целесообразно использовать цементно-песчаную смесь с процентным содержанием цемента по массе не менее 4,5 %.

Опыт применения канатных буроньекционных анкеров при строительстве 3-й линии Минского метро

Повколас К. Э.

Белорусский национальный технический университет

Отличительной особенностью Минского метро является неглубокое заложение станций и тоннелей. Поэтому все станции строятся открытым способом. Для устройства строительных конструкций станций необходимо обеспечить временное крепление бортов строительного котлована. Различают два типа крепления – гибкое, в виде двутавровых балок с деревянной забиркой, и жесткое, выполняемое методом «стена в грунте» или из соприкасающихся буронабивных свай. Последнее используется в случаях, когда требуется исключить смещение грунта за подпорной стенкой. Оно применяется при расположении в пределах призмы смещения зданий, сооружений и транспортных коммуникаций, которые не могут быть демонтированы или перенесены. Для крепления ограждений широко применяются буроньекционные анкеры. На 3-й линии были использованы три типа анкеров – стержневые с арматурой класса S500, типа «Титан», выполняемые по струйной технологии и, впервые массово, канатные. Последние были использованы при устройстве котлована на строящейся станции «Юбилейная». Отличительной особенностью является большая несущая способность, которая достигала 1500 кН, и длина, которая составила 24 м. Каждый из анкеров испытывался перед вводом в эксплуатацию с целью подтверждения его работоспособности. Главным условием эксплуатации анкеров является обеспечение требуемого уровня обжатия подпорной стенки анкерами. В ходе работы выделены следующие факторы, определяющие падение усилия преднапряжения анкеров после включения их в эксплуатацию:

1. Падение величины блокировочного усилия в ранее преднапряженном анкере при натяжении последующих за счет изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива.
2. Падение усилия вследствие обжатия стопорного устройства (шайб и клиновидных зажимов). Изменение усилия преднапряжения анкера за счет длительного развития деформаций ползучести корня анкера.
3. Потери от релаксации напряжений в канатной тяге анкера.

Влияние указанных факторов оценено теоретически, путем расчета методом конечных элементов в пространственной постановке, и подтверждено экспериментально.

Методики расчета сил, действующих на суда в подходных каналах шлюзов

Богданович М. И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в проектной практике используется методика расчета гидродинамических сил, действующих на суда в подходных каналах при наполнении (опорожнении) камеры шлюза, основанная на теории волнового движения длинной волны малой амплитуды и разработанная в 70-е годы двадцатого столетия. Волновая составляющая гидродинамической силы определяется по формуле:

$$P_1 = \frac{\partial Q}{\partial t} \cdot \frac{D\sqrt{\alpha_n}}{g(\omega_{кан} - \chi)} + \frac{2Q_2 D(1 - \sqrt{\alpha_n})}{l_s \sqrt{g(\omega_{кан} - \chi)} b_{д.ч.}}, \text{ кН}, \quad (1)$$

где D – весовое водоизмещение расчетного судна; $\omega_{кан}$ – площадь поперечного сечения подходного канала в уширенной части; χ – площадь миделевого сечения расчетного судна; $b_{д.ч.}$ – ширина подходного канала в уширенной части; l_s – длина расчетного судна; α_n – коэффициент, характеризующий степень уменьшения площади, канала расчетным судном. Производная $\partial Q/\partial t$ заменяется средним приращением расхода за время t_c пробега волной судна: $\Delta Q/\Delta t = (Q_2 - Q_1)/(t_2 - t_1)$. Значения Q_2 и Q_1 определяются по графику поступающего через нижнюю голову в канал расхода $Q = f(t)$, для чего от времени t_2 , отвечающего $Q_2 = Q_{max}$, влево откладывается отрезок времени t_c и отмечается время t_1 , где расход равен Q_1 .

В исследованиях, направленных на совершенствование расчета гидродинамических сил, можно выделить три направления. Первое основано на использовании системы интегро-дифференциальных уравнений, описывающих колебательное движение судна вместе с волновым потоком. Второе – на решении системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Третье – на совершенствовании методов определения производной в выражении (1). В каждом из направлений имеются достижения. Однако до настоящего времени не получено результатов, позволяющих отказаться от использования (1) для оценки условий отстоя судов в ожидании шлюзования и их движения в подходных каналах. Основной проблемой на наш взгляд является недостаточное экспериментальное обоснование теоретических результатов. Поэтому актуальным является создание автоматических измерительных систем нестационарных течений в открытых потоках.

УДК 624.17

Экспериментальная оценка возможности установки высокоточного медицинского оборудования на фундаментах, расположенных непосредственно на грунте, в условиях сложившихся вибрационных полей в г. Минск

Медвещек О. С.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы: оценка влияния вибродинамических воздействий, возникающих при движении автомобильного и рельсового транспорта на объекте «Район жилой застройки в границах ул. Кальварийская – ул. Скрыганова – железная дорога. Медицинский центр по г/п № 11», на аппарат МРТ – Philips Ingenia 1.5T, в цокольном этаже монолитно-каркасного 5-ти этажного здания.

В ходе испытаний использовался виброанализатор ВИБРАН-3.2. Также для фиксирования более мощных колебаний использовался виброметр ВИН-2.

Измерения проводились в вертикальном и горизонтальном направлениях в течение 3-х дней в периоды наиболее интенсивного движения транспорта. Было зафиксировано одновременное движение 2-х грузопассажирских составов железной дороги. Общая продолжительность измерений составила 69 минут.

Оценка вибраций производилась в соответствии с ГОСТ Р ИСО/ТС 10811-1–2007 «Вибрация и удар. Вибрация в помещениях с установленным оборудованием».

Сравнение величин скорости колебаний, полученных экспериментально в диапазоне частот от 4 до 80 Гц, с нормируемой зависимостью VC-C показывает, что наибольшее сближение параметров колебаний наблюдается при частоте 8 Гц. Измеренная величина скорости колебаний составляют 82,4 % от нормируемой величины, но не превысило ее ($0,0103 \text{ мм/с} < 0,0125 \text{ мм/с}$).

Положительным фактором является возможность устройства сейсмоизоляторов под МРТ. Также при передаче колебаний от грунта на плитный фундамент под МРТ прогнозируется снижение скорости колебаний на 7–10 %.

Эксперимент показал, что развитие инфраструктуры городов сопровождается ростом значительных вибрационных нагрузок. Данный факт подлежит обязательному учету при проектировании зданий и сооружений, в которых размещается высокоточное оборудование.

Исследование влияния забивки свай на прилегающее жилое здание, расположенное на свайном основании

Медвешек О. С.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы – определение уровней вибрации строительных конструкций жилого дома, прилегающего к площадке строительства при забивке свай, сопоставление измеренных параметров колебаний с допустимыми.

Объект исследования – «Многоквартирные жилые дома со встроенными помещениями торгово-административного назначения и подземными гараж-стоянками в границах пр. Дзержинского, ул. Щорса».

На момент проведения исследования секция 1 была возведена до отм. +10,500, секция 2 до отм. +4,200 (схема блокировки представлена на рисунке).

Минимальное расстояние от крайней оси секции 2 до ближайшей оси забивки свай – 14,92 м.

Преобладающий грунт – супесь средняя прочная.

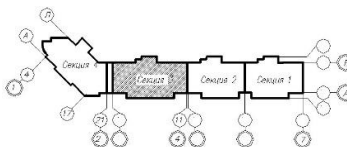


Схема блокировки здания

В ходе испытаний использовался виброанализатор ВИБРАН-3.2. Также для фиксирования более мощных колебаний использовался виброметр ВИН-2.

Была произведена забивка пробной сваи сваебойной установкой с дизель-молотом. В случае превышения пороговой величины скорости колебаний работы по погружению сваи должны быть прекращены. Продолжительность испытания составила 15 мин. 28,65 с.

Согласно DIN 4150-3:1999 "Structural vibration – Part 3: Effects of vibration on structures" для рассматриваемого сооружения (категория 2 - жилые здания и здания, имеющие аналогичную конструкцию или назначение) предельное пиковое значение скорости на фундаменте здания для частот колебаний от 1 до 10 Гц составляет 5 мм/с.

В ходе испытаний выявлено, что наиболее сильный ударный импульс был зафиксирован на 4 мин. 3 секунде и составил 0,7 мм/с, наибольший импульс имеет механическую частоту 0,75 Гц.

Максимально зарегистрированный уровень колебаний в 7,14 раз меньше значения, при достижении которого возможно появление дополнительной неравномерной динамической осадки и связанных с ней повреждений строительных конструкций вследствие возникновения дополнительных напряжений в наземных конструкциях.

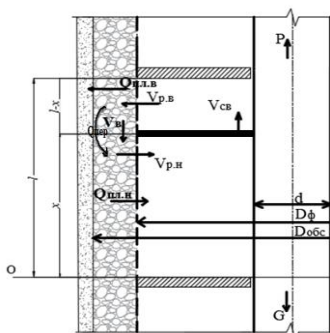
Регенерация водозаборных скважин методом линейного свабиrowания

Ивашечкин В. В., Медведева Ю. А.

Белорусский национальный технический университет

В БНТУ предложено для эффективной регенерации водозаборных скважин, закольматированных прочными сцементированными отложениями, производить их регенерацию методом поинтервального свабиrowания в реагенте. Для этого в фильтр опускают эрлифт и устройство для регенерации, содержащее сваб, жестко закрепленный на нижней трубе эрлифта. Ограничивают участок фильтра двумя пакерами, заливают реагент и принудительно перемещают сваб между пакерами вверх с заданной скоростью. В верхней полости над диском создается избыточное давление, а в нижней полости – пониженное давление. Под действием перепада давлений поток реагента из верхней полости огибает сваб по гравийной обсыпке, тем самым растворяет и выносит кольматирующие отложения. Вниз сваб перемещается под действием веса эрлифта.

Расчетная схема линейного свабиrowания между двумя неподвижными пакерами представлена на рисунке.



Расчетная схема регенерации участка фильтра:

- 1 – штанга; 2 – гравийная обсыпка; 3 – фильтр;
4 – сваб

В результате была установлена взаимосвязь между скоростью движения сваба $v_{св}$ и радиальной v_p и вертикальной v_e скоростями фильтрационного потока в гравийной обсыпке.

Вертикальная скорость v_e в гравийной обсыпке равна:

$$v_e = \frac{Q_{пер.в-н}}{W_{обс}},$$

где $Q_{пер.в-н}$ – расход перетекания из верхней полости в нижнюю; $W_{обс}$ – поперечное сечение гравийной обсыпки.

Радиальная скорость v_p в верхней полости камеры будет равна:

$$v_p = \frac{Q_{п.в}}{w_B},$$

где $Q_{п.в}$ – расход, вытесняемый и верхней полости в пласт; w_B – площадь наружной боковой поверхности фильтра напротив верхней полости камеры.

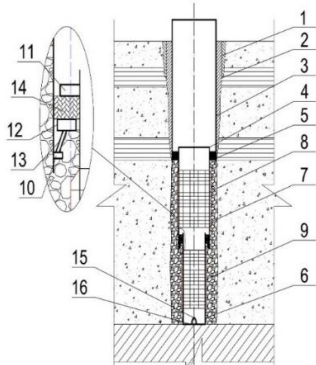
Телескопическая конструкция водозаборной скважины

Магарян М. П.

Белорусский национальный технический университет

Основными причинами потери работоспособности водозаборной скважины является выход из строя фильтров в результате кольматационных процессов, коррозии и других причин. Успешность извлечения поврежденного фильтра на поверхность напрямую зависит от его конструкции, длины, типа и степени повреждения.

Единственной ремонтпригодной конструкцией водозаборной скважины на сегодняшний день является скважина с фильтром «впотаи» и гравийным сальником. Но и она в большинстве случаев является «неизвлекаемой» при значительных длинах фильтров, из-за высоких сил трения, возникающих между фильтром и обсыпкой.



Водозаборная скважина с фильтром телескопической конструкции :

1 – кондуктор; 2 – затрубная цементация; 3 – эксплуатационная колонна; 4 – надфильтровая труба; 5 – сальник; 6 – отстойник; 7 – гравийная засыпка; 8, 9 – секции фильтровой колонны; 10 – внутренний фланец; 11 – наружный фланец; 12 – подвижное кольцо; 13 – упор подвижного кольца; 14 – кольцевой цилиндр из эластичного материала; 15 – захватная скоба; 16 –

В БНТУ на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство» была разработана и запатентована новая конструкция водозаборной скважины с фильтром телескопической конструкции (рисунок).

В предлагаемой конструкции скважины фильтровая колонна выполнена из нескольких фильтровых секций, телескопически соединенных между собой. Это позволяет снизить трение при извлечении, так как фильтр извлекается посекционно, начиная с нижней секции. Для соединения секций между собой и обеспечения герметичности кольцевых зазоров можно использовать монтажную пену, закачивая ее в кольцевые зазоры с помощью ручного шприца-дозатора.

Наиболее подходящие соотношения диаметров верхней и нижней секций фильтровой колонны: 273/168, 219/114, 168/89 мм, при длине фильтровых секций не более 5–6 м. При этом расчет дебита новой конструкции водозаборной скважины и сравнение данного показателя с типовой конструкцией показывает, что уменьшении диаметра нижней секции приводит к снижению дебита на

2,6–3,4 %, что является несущественным.

Установка для импульсно-реагентной регенерации водозаборных скважин

Кочергин А. Ю.

Белорусский национальный технический университет

В БНТУ разработана установка для импульсно-реагентной регенерации скважин взрывом водородно-кислородной смеси. Установка предназначена для восстановления дебита водозаборных скважин, в том числе с длительными сроками эксплуатации, когда их фильтр и прифилтровая зона закольматированы прочными сцементированными отложениями.

Эффективность регенерации фильтра модельной скважины определялась как отношение удельного дебита q_i – после обработки к удельному дебиту до обработки q_0 : $\mathcal{E} = (q_i / q_0)$. Внутри фильтра опускали скважинное газодинамическое устройство и производили обработку взрывами водородно-кислородной газовой смеси (ВКГС) нижней части фильтра (рисунок). Взрывы ВКГС осуществляли в режиме взрывного горения в цилиндрической взрывной камере с внутренним диаметром $d = 150$ мм, геометрическим объемом $V_k = 3$ дм³.

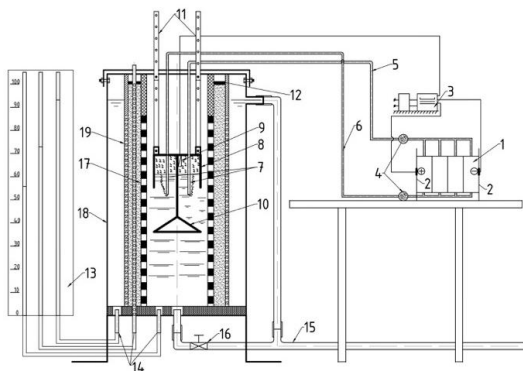


Схема испытательного стенда для импульсно-реагентной регенерации скважин:
 1 – электролизер; 2 – электроды; 3 – источник постоянного тока; 4 – камеры для сбора газа; 5 – шланг для водорода; 6 – шланг для кислорода; 7 – газоподводящие трубки; 8 – рабочая камера; 9 – свеча поджига; 10 – отражатель; 11 – подвесное крепление камеры; 12 – глиняный замок; 13 – пьезометрический щит; 14 – пьезометры; 15 – водосливной трубопровод; 16 – вентиль; 17 – фильтр; 18 – бак; 19 – перфорированная труба

В результате совместной импульсно-реагентной обработки было достигнуто повышение удельного дебита модели скважины. Изучение эффективности применения данного устройства будет продолжено.

Возможности использования ветровой и солнечной энергетики

Елисеев А. Е.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время перед республикой Беларусь остро стоят вопросы обеспечения топливно-энергетическими ресурсами. Так как природные запасы собственных топливно-энергетических ресурсов ограничены, то приобретает важное значение разработка методов получения и использования нетрадиционных источников энергии. К ним относятся энергия ветра, солнца и др. Современный мир от использования возобновляемых источников энергии получает 1/7 часть электроэнергии. Вопросы получения электроэнергии за счет возобновляемых источников энергии включены в программу развития энергетики многих стран мира.

Принцип работы ветровой электростанции основан на преобразовании энергии ветра во вращательное движение турбины. Наибольшие среднемесячные скорости ветра в РБ наблюдаются в холодный период (ноябрь-март), когда увеличивается циклоническая деятельность. Минимальная наблюдается в конце лета. Наибольшее значение удельной мощности характерны для южной части республики, которая расположена в пределах Белорусского полесья. Наибольшее значение энергии может быть получено в зимний период. Максимальные значения удельной мощности ветрового потока превышает 150 Вт/м. На территории нашей республики выявлено около 1840 площадок, пригодных для размещения ветроэнергетических станций и ветропарков. Эти площадки представляют собой в основном ряды холмов высотой от 250 м над уровнем моря, где средняя скорость ветра колеблется от 5 до 8 м/с. На каждой из них можно разместить от 3 до 20 ветроэнергетических установок. Сейчас же в Беларуси около 30 установок, и процент этих установок от общего числа перспективных мест продолжает быстро расти. Необходимо отметить также, что ветроэнергоресурсы не могут рассматриваться как устойчивые источники гарантированной энергии. Они должны создаваться в качестве дублирующих систем, дополняющих традиционные энергетические системы.

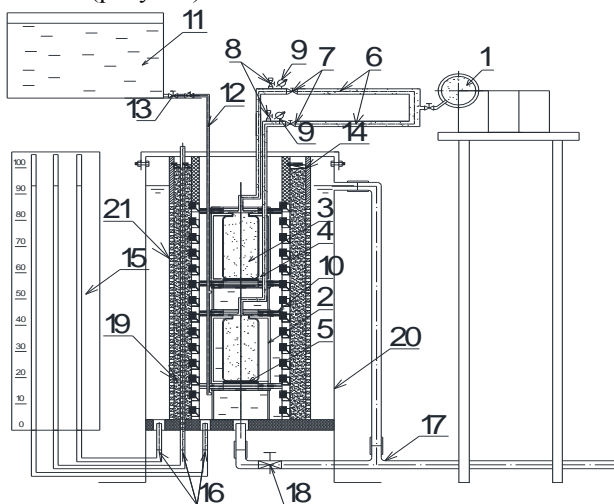
Самым мощным, экологически чистым естественным и общедоступным источником энергии на нашей планете является Солнце. Главным фактором, обуславливающим развитие использования солнечной энергии в Беларуси – это наличие достаточного количества световой энергии, падающей на единицу поверхности. По количеству этой энергии Беларусь находится на одном уровне с Германией, Японией и Канадой, где солнечная энергетика развивается очень активно. Наиболее мощными солнечными электростанциями являются Брагинская и Мядельская.

**Лабораторная установка для исследования процесса растворения
кольматирующих отложений в модели скважины методом
реверсивной импульсно-реагентной регенерации**

Иванова И. Е., Ивашечкин В. В.

Белорусский национальный технический университет

В БНТУ предложена установка для реверсивной импульсно-реагентной регенерации водозаборных скважин, состоящая из компрессора, шлангов и погружного устройства, выполненного в виде двухкамерного пневматического насоса с резиновыми эластичными мембранами в каждой камере, разделяющими камеру на газовый и нагнетательный отсеки. Для исследования процесса растворения кольматирующих отложений предложена лабораторная установка (рисунок).



Лабораторная установка для исследования процесса растворения
кольматирующих отложений в модели скважины методом реверсивной
импульсно-реагентной регенерации:

- 1 – компрессор; 2 – устройство для реверсивной импульсно-реагентной регенерации; 3 – газовый отсек; 4 – нагнетательный отсек; 5 – защитная сетка; 6 – воздухопроводы; 7, 13, 18 – вентили; 8 – сбросные вентили; 9 – манометры; 10 – манжеты; 11 – емкость с реагентом; 12 – гибкий шланг; 14 – глиняный замок; 15 – пьезометрический щит; 16 – пьезометры; 17 – водосливный трубопровод; 19 – закольмированный фильтр; 20 – бак; 21 – перфорированная труба

Методика расчета креплений верховых откосов земляных плотин

Михневич Э. И.

Белорусский национальный технический университет

Для крепления откосов земляных плотин при воздействии волн чаще всего используют каменную наброску и сборные или монолитные железобетонные плиты. Значения параметров креплений, рассчитанные по существующим формулам, значительно различаются между собой. Некоторые из этих формул непригодны для малых водохранилищ Беларуси. Для определения диаметра камня наброски и толщины плит предложена новая методика расчета, пригодная для водохранилищ Беларуси. Методика разработана на основе теории предельного равновесия сдвигающих и удерживающих сил на откосе. Учтены сдвигающие силы: взвешивающее волновое давление; влекущая сила потока, образующегося на откосе при откате волны; сдвигающий компонент силы тяжести материала крепления, зависящий от коэффициента заложения откоса. Удерживающие силы определены с учетом основных физико-механических свойств материала наброски: плотности частиц во взвешенном водой состоянии, пористости, внутреннего трения и удерживающего компонента, силы тяжести.

Формула для определения диаметра камня наброски D получена в виде

$$D = K_3 \frac{h + 0,27(1 - n_s)h_b f \sqrt{1 + m^2}}{(\rho_K / \rho_B)(mf - 1)}$$

где h_b – высота расчетной волны, м; ρ_K, ρ_B – плотность соответственно камня и воды, кг/м³; m – коэффициент заложения откоса; K_3 – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения каменной наброски по откосу, $K_3 = 1,20$ для каменной наброски из несортированного материала; $K_3 = 1,0$ для каменного мощения; h – средняя глубина воды на поверхности откоса при откате волны, может быть принята $h = (0,3-0,5) h_b$; n_s – пористость материала наброски; f – коэффициент трения каменной наброски по слою обратного фильтра из щебня $f = 0,9-1,0$; из гравия $f = 0,8-0,9$.

Расчет фильтрующей пригрузки откосов в зоне выхода фильтрационного потока

Михневич Э. И.

Белорусский национальный технический университет

Существенное воздействие на откосы водоемов, дамб и каналов оказывает давление фильтрационного потока. В зоне высачивания грунтовых вод на откосы фильтрационное давление создает сдвигающие усилия, вызывающие нарушения их устойчивости.

Откосы, подверженные действию фильтрационного потока, формируются очень пологими (коэффициент заложения откоса в несвязанных грунтах $m = 3,0-4,5$).

Коэффициент заложения незакрепленного фильтрующего откоса в песчаных грунтах можно определить по формуле автора

$$m = \frac{\gamma_1 d_{90} + 0,002\gamma_b h_b}{\gamma_1 d_{90} f + C_p}$$

где γ_1 , γ_b – удельный вес грунта, взвешенного водой и воды Н/м³; h_b – высота высачивания грунтовых вод на откос, м; d_{90} – диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 90 % по массе (крупная фракция), м; f – коэффициент внутреннего трения грунта в воде; C_p – структурное сцепление грунта, Па.

Чтобы предохранить поверхностный слой откоса от оплывания устраивают дренирующую пригрузку, которая должна иметь определенную толщину. Для коэффициента заложения откоса m , находящегося в пределах $1/f \leq m \leq 1,7/f$, значения необходимой толщины δ пригрузки песчаного откоса в зоне высачивания грунтовых вод можно приближенно определить по формуле

$$\delta = 0,024 f h_b \exp[3(2 - mf)].$$

Конструктивно толщину пригрузки назначают не менее 0,1 м и принимают $\delta \geq 3D$ во избежание вымыва грунта через межзерновые полости материала пригрузки (D – средний диаметр материала пригрузки).

**Диагностика состояния подземных трубопроводов
и бестраншейные способы их ремонта**

¹Ануфриев В. Н., ²Линкевич А. Н.

¹Белорусский национальный технический университет

²УП «Минскводоканал»

Эффективная эксплуатация водопроводных и канализационных сетей предполагает непрерывное поступление информации об их техническом состоянии в том числе телевизионная диагностика. На основании такой информации возможно предотвращение аварий, планирование ремонтных работ, осуществление приемки вновь построенных и отремонтированных сетей. В существующих городских условиях сложно осуществлять ремонт сетей открытым традиционным способом – с устройством траншеи с разрушением дорожного покрытия на больших площадях. Поэтому бестраншейные способы ремонта сетей получили большое распространение и позволяют снизить затраты на реконструкцию и повысить производительность труда. Наибольшее распространение получили следующие бестраншейные методы ремонта трубопроводов:

- нанесение цементно-песчаного покрытия на внутреннюю поверхность ремонтируемого трубопровода;
- использование пневмопробойника для создания нового полимерного трубопровода на месте старого;
- использование гибкого комбинированного рукава ("чулка"), позволяющего формировать новую трубу внутри старой.

Для этого внутри ремонтируемого трубопровода через смотровые колодцы размещают комбинированный рукав, представляющий собой пропитанный термореактивным связующим армирующий материал. Затем во внутреннюю пленочную герметичную оболочку комбинированного рукава под давлением подается теплоноситель, который расправляет рукав, прижимает его к внутренней поверхности трубопровода и полимеризирует связующее, образуя новую композитную трубу.

- "длиннотрубный" метод, заключающийся в протаскивании относительно гибкой полимерной трубы внутрь старого ремонтируемого трубопровода;
- использование рулонной трубы, т. е. создание новой полимерной трубы внутри старой при помощи обмоточной машины и пластмассовой бесконечной профильной ленты.

Целесообразность использования того или иного способа зависит от состояния трубопровода, его размеров, вида транспортируемой среды, окружающей подземной инфраструктуры.

Обработка осадка очистных сооружений сточных вод на сооружениях при минимизации энергозатрат

Ануфриев В. Н.

Белорусский национальный технический университет

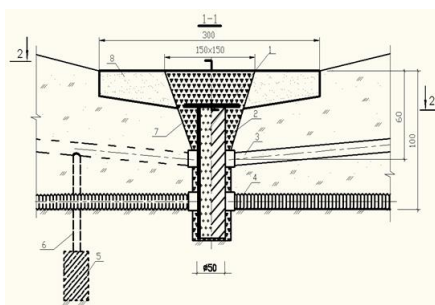
Долговременное хранение осадка на иловых площадках в Республике Беларусь являются весьма распространенным способом его утилизации даже для крупных очистных сооружений. Иловые площадки являются источником долгосрочного воздействия, главным образом связанного с загрязнением биогенными элементами и тяжёлыми металлами. Многие предприятия в настоящее время имеют проблемы с получением новых площадок для размещения осадков сточных вод, в тех случаях, когда емкость имеющихся исчерпана. Как известно, основным направлением при обработке осадка является максимальное уменьшение его объёма за счет уменьшения его влажности. Так при снижении влажности исходного осадка с 99,4 до 65–70 % после обезвоживания объем осадка уменьшается в 10 раз. Максимально возможное сокращение объема осадка может быть получено при его сжигании с получением золы как конечного продукта. При этом стоимость обработки осадка высокотехнологичными способами в сравнении экстенсивными является очень высокой. Так на сооружения механического обезвоживания с использованием ленточных фильтр-прессов требуются инвестиции в пределах 80–250 тысяч Евро, при последующем энергопотреблении 20–30 кВт ч на 1 т сухого вещества осадка. Применение методов дополнительной обработки, такой как сушка и сжигание делают процесс обращения с осадком еще более затратным. И если для крупных очистных сооружений это может быть приемлемым из-за большого объема обрабатываемого осадка, то для очистных сооружений небольшой производительности возникает проблема поиска технических решений, которые при соответствующем уровне санитарной и экологической безопасности характеризовались бы приемлемыми технико-экономическими показателями.

В этом плане представляет определенный интерес замена иловых площадок традиционных конструкций на грунтово-растительные площадки предназначенных для обработки осадков. Для предотвращения просачивания иловой вод в нижележащие слои грунта фильтрующая загрузка размещается над слоем гидроизоляции и таким образом в отличие от традиционных иловых площадок отсутствует фильтрация в грунт иловой воды. Иловые грунтово-растительные площадки имеют определенные особенности и требуют проведения специальных исследований по их адаптации к условиям Республики Беларусь и разработке усовершенствованных конструкций таких сооружений.

Применение новых водопоглощающих устройств на мелиоративной сети

Митрахович А. И., Казьмирук И. Ч.
РУП «Институт мелиорации»

Ведение интенсивного сельскохозяйственного производства на слабо-водопроницаемых почвах осложнено застоем поверхностных вод, которые накапливаются в том числе и в бессточные понижения. Горизонтальный дренаж без дополнительных мероприятий не всегда дает желаемый эффект.



Устройство для осушения
бессточного понижения

Для обеспечения гидравлической связи между поверхностью почвы и закрытым горизонтальным дренажем разработана новая конструкция «Устройство для осушения бессточного понижения» [1] (рисунок). Устройство разработано для увеличения объема сброса избыточных поверхностных и почвенно-грунтовых вод из замкнутых бессточных понижений и обеспечения требуемых условий для интенсивного использования мелиорированных зе-

мель. В центре бессточного понижения устраивают потайной колодец-поглотитель 1, выполненный из вертикально установленной перфорированной трубы 2, верхний конец которой расположен ниже пахотного горизонта на глубину не менее 0,4 м; что не препятствует обработке почвы сельскохозяйственной техникой. В него впадают радиально расположенные дрены 3, выполненные из перфорированных гофрированных труб. Концы истоков дрен соединены с вертикальными трубами 6 терморегулирующих элементов 5. Каждый терморегулирующий элемент устроен на глубине ниже двойной глубины промерзания грунта, заполнен фильтрующим материалом, что обеспечивает поступление тепла в лучевые дрены из изотермического слоя почвы. Над колодецем-поглотителем устраивается ниша в виде усеченной призмы, центральная часть ее заполняется фильтрующей засыпкой крупнозернистой фракции 7, по краям – засыпкой из мелкозернистой фракции 8. Отвод воды из трубчатого колодца-поглотителя осуществляется по сбросному коллектору в водоприемник.

Исследование водоприемной способности дрен с различными присыпками

Казьмирук И.Ч.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь – один из наиболее заторфованных географических регионов Европы. Общая площадь торфяных болот до начала их освоения составляла 2,9 млн га, или 14,2 % территории [1]. Торфяно-болотные почвы наиболее распространены в Брестской, Минской и Гомельской областях. После проведения мелиорации торфяно-болотные почвы приобретают высокое потенциальное плодородие. В составе осушенных земель Республики около 1,1 млн. га торфяных почв [2].

Согласно ТКП 45-3.04-8–2005, дренам следует присыпать растительным грунтом на высоту 20 см (рис. 1). В торфяных почвах слой растительного грунта содержит большое количество гумуса. Гумус и его важнейшая составляющая – гуминовая кислота, становятся труднодоступными для корневой системы растений. Для использования в сельскохозяйственном производстве осушению подвергают болота низинного типа, с высокой степенью разложения торфа (свыше 35 %). Такие торфяники имеют низкий коэффициент фильтрации, содержат мелкие частицы, способные коагулировать дренажный фильтр, что не способствует быстрому отводу воды с осушаемой территории. Предлагаемое решение данной проблемы состоит в том, чтобы дренам присыпать не растительным грунтом, а песком

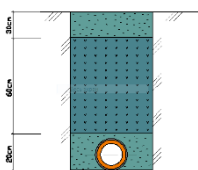


Рис. 1. Присыпка дрен растительным грунтом

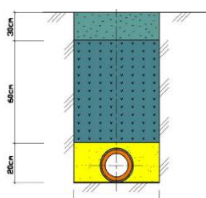


Рис. 2. Присыпка дрен песком

или песчано-гравийной смесью с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сут. (рис. 2). Здесь решаются две проблемы, первая из которых сохранение торфяного слоя почвы, который образуется со скоростью от 0,5 до 1 мм в год [3]; вторая – своевременный отвод воды с осушаемой территории. Данный способ присыпки применим при осушении глубоких и мелкозалежных торфяников.

Методические основы создания системы мониторинга состояния конструкций очистных сооружений

Левкевич В. Е., Лосицкий В. А

Белорусский национальный технический университет

Существующие комплексы очистных сооружений представляют собой достаточно сложный комплекс конструкций и технологий, обеспечивающий эффективную очистку сточных вод. В настоящее время областные центры и практически все районные центры имеют очистные сооружения. Кроме того, крупные градообразующие и бюджето - формирующие предприятия страны имеют собственные очистные сооружения. Состояние конструкций этих сооружений в ряде случаев не соответствует условиям нормальной эксплуатации и безопасности. В ряде случаев контроль за состоянием сооружений просто отсутствует. В этой связи необходима разработка системы мониторинга состояния сооружений, которая бы осуществляла оптимальный контроль над функционированием системы очистки сточных вод.

На основании изученных систем мониторинга состояния конструкций ГТС можно сделать вывод о том, что подобные системы должны основываться на современных информационных системах постоянного мониторинга состояния конструкций гидротехнических сооружений, обладающих оперативностью, достоверностью, малозатратностью, автоматизированностью, мобильностью и интеллектуальностью.

Задачами системы мониторинга являются: предотвращение различного вида аварий на очистных сооружениях, минимизация затрат на принятие управленческих решений по устранению аварий на очистных сооружениях Республики Беларусь. Структура системы мониторинга состоит из 4 уровней (центральный, региональный, местный, локальный), тесно связанных между собой.

Основным компонентом системы мониторинга является база данных (БД). Источниками пополнения базы данных системы мониторинга являются: наземные измерения (обследования сооружений), статистика опроса персонала, он-лайн информация белорусского центра метеорологии, статистические данные, аэрофотосъемка.

Для улучшения работы и оптимизации процессов системы мониторинга разрабатывается программное обеспечение для базы данных. Программное обеспечение базируется на облачных технологиях, реализованных в приложении Google Spreadsheets.

Энергоэффективные технологии

Форма пузырей в магнитной жидкости в плоском щелевом канале при воздействии магнитных полей

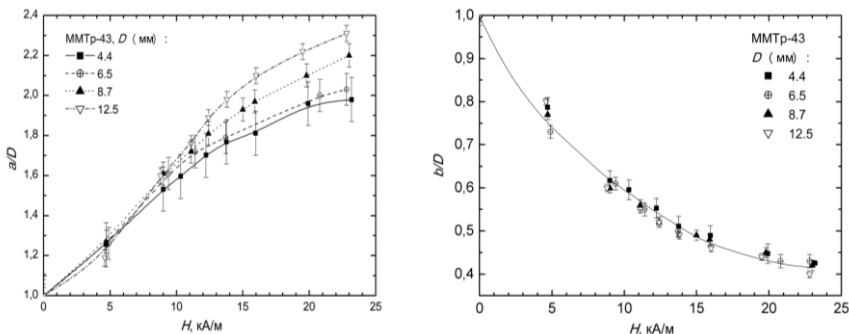
¹Мороз В. С., ²Ряполов П. А.

¹Белорусский национальный технический университет

²Юго-западный государственный университет, г. Курск, Россия

В работе исследовано изменение формы пузырей в магнитной жидкости в плоском щелевом канале при воздействии магнитного поля. Рассматриваемый щелевой канал был образован между двумя плоскими поверхностями с толщиной зазора между ними $h = 1,1$ мм. Пузыри генерировались поршневой системой, снабженной микрометрическим винтом, с инструментальной погрешностью измерения объема не более $0,6 \text{ мм}^3$. Система размещена в однородном магнитном поле, направленном горизонтально: вдоль плоскости щелевого канала. В работе осуществлялось плавное изменение магнитного поля в диапазоне до 25 кА/м . Перед каждым измерением пузырь выдерживался в поле фиксированной напряженности не менее 1 минуты. Форма пузыря фиксировалась фоторегистратией с последующей обработкой изображения в графическом редакторе Microsoft Visio. Пузырь воздуха вытягивается в виде эллипса вдоль магнитного поля. Выполнены измерения большой – a и малой – b оси пузыря. Значения a и b осей обезразмеривались по начальному диаметру пузыря D , измеренному в отсутствие магнитного поля.

Результаты проведенных исследований представлены на рисунке.



Зависимости относительных размеров пузырей различного диаметра от напряженности однородного магнитного поля

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Движение пузырей в плоской щели с магнитной жидкостью в неоднородном магнитном поле

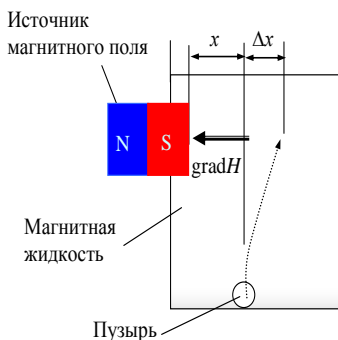
Баштовой В. Г., Рекс А. Г., Рискаль А. В.

Белорусский национальный технический университет

Настоящая работа направлена на создание методов магнитоуправляемого теплопереноса в газожидкостных системах на основе магнитной жидкости.

Управление переносом тепла основано на воздействии магнитных полей на форму и динамику движения газовых пузырей в магнитной жидкости. Механизм воздействия поля на пузыри реализуется за счет создания распределения давления в жидкости неоднородным магнитным полем, которое влияет на траекторию этих пузырей

Выполнено экспериментальное исследование влияния неоднородного магнитного поля на движение газовых пузырей в магнитной жидкости.



Рассматривается всплытие пузырей воздуха в вертикальном плоском канале с магнитной жидкостью в неоднородном магнитном поле (рисунок).

Всплывающие вверх пузыри вытесняются объемной магнитной силой в магнитной жидкости в область более слабого поля. В результате пузыри всплывают вертикально вверх с горизонтальным отклонением Δx , и постепенно удаляются от магнита.

Получены зависимости горизонтального смещения пузырей от градиента поля и объемной магнитной силы

Установлено, что значительные горизонтальные смещения до 50 мм всплывающих пузырей можно получить в магнитных жидкостях даже невысокой намагниченности (в данном эксперименте намагниченность насыщения равна 21,9 кА/м). Диапазон отклонения пузырей может быть расширен не только увеличением градиента поля, но и за счет использования магнитных жидкостей с большой намагниченностью насыщения, которая может достигать до 100 кА/м.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Влияние магнитного поля на падение капли магнитной жидкости в воздушной среде

Рекс А. Г.

Белорусский национальный технический университет

Исследование посвящено изучению влияния неоднородного магнитного поля на траекторию падения капли магнитной жидкости в воздушной среде.

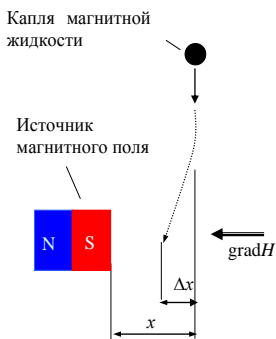


Рис. 1

Первоначально капля находится на некотором горизонтальном расстоянии x относительно источника магнитного поля. При вертикальном падении в неоднородном магнитном поле под действием горизонтально направленного градиента напряженности происходит отклонение капли относительно начальной координаты на горизонтальное расстояние Δx (рис. 1).

При падении изменение траектории движения капли при приближении к источнику магнитного поля обусловлено действием горизонтальной магнитной силой $\mu_0 M \text{grad} H$.

Отклонение капли определяется величиной этой силы, которая, в свою очередь, зависит от намагниченности магнитной жидкости и величины градиента магнитного поля.

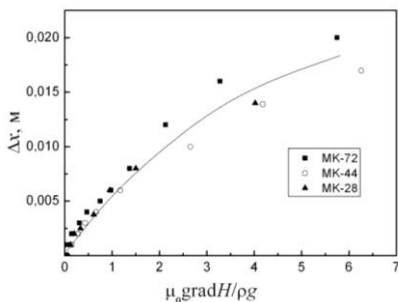


Рис. 2

Исследования выполнены с магнитными жидкостями на основе керосина, в качестве источника неоднородного магнитного поля выбраны кобальт-самариевых магниты.

Получены обобщающие зависимости отклонения капель от объемной магнитной силы для капель магнитной жидкости различной намагниченности (рис. 2).

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

фундаментальных исследований Республики Беларусь.

**Устройство дополнительного подогрева теплоносителя
в гелиоколлекторных установках**

Липницкий Л. А., Бутько А. А.

Международный государственный экологический институт имени

А. Д. Сахарова

Белорусского государственного университета

При использовании гелиоколлекторных установок для подогрева теплоносителей, к ним предъявляется ряд требований, в том числе обеспечение заданной температуры теплоносителя, поступающего к потребителю. Нестабильность солнечного излучения часто приводит к снижению температуры теплоносителя ниже допустимого уровня, что снижает эффективность гелиоколлекторов. Одним из способов решения данной проблемы может являться подогрев теплоносителя непосредственно в гелиоколлекторной установке.

Обычно корпус солнечного теплового коллектора выполняется в виде светопрозрачных стеклянных трубок и размещенных внутри них поглотительных трубок, по которым перемещается теплоноситель. Нижняя часть прозрачных трубок покрывают отражающим слоем, а пространство между светопрозрачной и поглотительной трубкой вакуумируется для максимального снижения теплообмена между поглотительной трубкой и окружающей средой. При этом для снижения инфракрасного излучения от поглотительных трубок применяют покрытия, имеющие способность максимального поглощения тепловой энергии при минимальной возможности отдать ее обратно в окружающую среду за счет инфракрасного излучения. Одними из лучших в этом плане является покрытия на основе никеля. Их можно также использовать для дополнительного подогрева теплоносителя в трубках. Необходимое покрытие на поглотительных трубках получают путем химического никелирования, что позволяет получить в составе покрытия до 15 весовых процентов фосфора, обеспечивая покрытие требуемые электрофизические свойства. В результате никелированное покрытие может выполнять роль резистивного элемента, подключаемого к электрической цепи через регулятор температуры. Для обеспечения равномерного нагрева поглотительной трубки покрытие на основе никеля наносится по ее длине в виде спирали с увеличивающимися шага на 5–10 % по ходу движения теплоносителя. Тем самым обеспечивается снижение возможного теплового излучения от поверхности трубки.

В результате данная установка может обеспечить поддержание заданной температуры теплоносителя за счет максимально использования ее конструктивных особенностей и минимальных дополнительных затрат.

Влияние диффузии и магнитофореза на теплоперенос в магнитной жидкости

Баштовой В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Показано, что в магнитной жидкости, находящейся в неоднородном магнитном поле, в результате протекающих в ней процессов магнитофореза и броуновской диффузии, приводящих к неоднородному распределению концентрации магнитных частиц, возникает неоднородное распределение эффективного коэффициента теплопроводности. Следствием этого является перераспределение локальных тепловых потоков и изменение условий теплопередачи в жидкости.

Рассмотрена конкретная задача теплопередачи через цилиндрический слой магнитной жидкости толщины h с плоскопараллельными основаниями радиуса R , находящийся в магнитном поле H , зависящем только от радиальной координаты r и имеющем характерное значение величины напряженности H_0 . От этой же координаты будет иметь место зависимость концентрации частиц Φ . На основаниях слоя поддерживается постоянная разность температур ΔT . Распределение температуры по высоте слоя носит линейный характер с постоянным градиентом $\gamma = \Delta T/h$.

Для описания зависимости эффективного коэффициента теплопроводности λ_e от концентрации частиц Φ принимается формула Максвелла $\frac{\lambda_e(\Phi)}{\lambda_f} = \frac{2 + \varepsilon - 2\Phi(1 - \varepsilon)}{2 + \varepsilon + \Phi(1 - \varepsilon)}$, где λ_f и λ_p коэффициенты теплопроводности жидкости-основы и частиц соответственно, а $\varepsilon = \lambda_p/\lambda_f$.

Распределение концентрации частиц в слое магнитной жидкости с исходной равновесной концентрацией Φ_0 определяется решением уравнений

диффузии: $\Phi = D \frac{sh[UH'(r')]}{H'(r')}$, $D = \Phi_0 \left\{ 2 \int_0^1 \frac{sh[UH'(r')]}{H'(r')} r' dr' \right\}^{-1}$, где $r' = r/R$,

$H' = H/H_0$, $\lambda_e/\lambda_f = U$ – безразмерный магнитный параметр, характеризующий задачу, а локальная плотность теплового потока $q(r)$ и полный

тепловой поток через слой Q будут равны: $q(r) = \lambda_e(r)\gamma$, $Q = 2\pi \int_0^R q(r)rdr$.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Повышение эффективности системы охлаждения масла трансформаторной подстанции

Ивашенко Е. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Модернизация трансформаторных подстанций сводится, как правило, к наращиванию мощности системы охлаждения путём монтажа на стенках бака трансформатора дополнительных радиаторов маслоохладителей и охлаждающих вентиляторов. Вентилятор засасывает воздух снизу и обдувает нагретую верхнюю часть труб. Пуск и останов вентиляторов осуществляется автоматически в зависимости от нагрузки и температуры нагрева масла. Трансформаторы с таким охлаждением могут работать при полностью отключенном дутье, если нагрузка не превышает 100 % от номинальной, а температура верхних слоев масла не более 55 °С, а также независимо от нагрузки при отрицательных температурах окружающего воздуха и температуре масла не выше 45 °С. Работа вентиляторов предполагает дополнительные затраты на электроснабжение подстанции.

При этом, на многих объектах организована система обогрева здания подстанции ТЭНами. Это становится весомым аргументом в пользу замены системы охлаждения трансформаторного масла альтернативной, на базе теплонасосной установки (ТНУ), которая одновременно предназначается и для выработки тепловой энергии для отопления здания, что позволит заменить дорогостоящую систему отопления здания с помощью электродкотлов. Передача теплоты от трансформаторного масла к тепловому насосу осуществляется через теплообменник, установленный на наружной площадке рядом с трансформаторами.

По трубам масло поступает в теплообменник, где охлаждается за счёт теплообмена с промежуточным хладоносителем – этиленгликолем. Нагретый этиленгликоль возвращается в тепловой насос, где, в свою очередь, его теплота отбирается хладагентом. Такая система позволяет охладить трансформаторное масло до более низких температур и поддерживать заданную температуру, в то время как при использовании воздушного охлаждения радиаторов принудительная циркуляция воздуха запускается только при достижении маслом критической температуры.

Таким образом решаются сразу две задачи – эффективного охлаждения трансформаторного масла, что позволяет увеличить нагрузку на трансформаторах, и замены дорогостоящей системы отопления здания подстанции электродкотлами на фактически бесплатное в данном случае водяное.

Применение теплового насоса при опреснении

Кривошеев Ю. К.

Белорусский национальный технический университет

Технологические процессы разделения смесей (перегонка, ректификация, опреснение) традиционно ведутся путём испарения вещества за счёт внешнего источника энергии (нагрева), затем происходит конденсация с отдачей теплоты фазового перехода окружающей среде. Используя сбрасываемую теплоту конденсации на испарение, частично заменив внешний источник энергии. Устройством, реализующего такой процесс, выступает тепловой насос (ТН), он осуществляет «перекачку» выделяющейся при конденсации тепловой энергии на испарение рабочего вещества, необходимо привести в тепловой контакт испаритель и конденсатор (например, разместить конденсатор в испарителе). За счёт более высокой температуры конденсации, обеспеченной благодаря работе компрессора, теплота конденсации «самотёком» пойдёт на испарение жидкости. Рассмотрим возможную принципиальную схему работы такого устройства. Испаритель и конденсатор должны быть выполнены так, чтобы солёная вода в испарителе имела развитую поверхность контакта с конденсатором. Компрессор через трубопровод паровой фазы низкого давления всасывает испаряющийся в испарителе пар, сжимает его и по трубопроводу высокого давления подаёт его в конденсатор. Сжатие пара приводит к повышению его температуры. Для того чтобы соль не осаждалась на теплообменных поверхностях испарителя, концентрация её поддерживается достаточно низкой за счёт непрерывного дренажа свежей морской водой путём избыточной, большей, чем расходуется на испарение, подачи её через подающий (питающий) трубопровод и слива из испарителя воды с повышенной концентрацией соли по соответствующему трубопроводу. Чтобы уменьшить тепловые потери, связанные с необходимостью нагрева дренажной воды, предусмотрим противоточный теплообменник, в котором сливаемая солёная вода и пресный конденсат отдают свою теплоту подаваемой солёной воде. Режим работы устройства контролируется расходным вентилем пресной воды (конденсата). Для сброса из конденсатора растворённых в воде неконденсируемых газов предусмотрен дренажный газовый патрубок с вентилем. Такой ТН работает при температуре, близкой к комнатной, отпадает необходимость в противоточном теплообменнике для нагрева дренажной воды. Однако при этом возникнет необходимость применения насосов для откачки дренажной воды и неконденсируемых газов.

Особенности работы гибридной системы с общей шиной низкого напряжения

Червинский В. Л.

Белорусский национальный технический университет

Для работы ветрогенератора в составе с нагрузкой можно выделить следующую особенность: с целью снижения емкости аккумуляторов-накопителей необходимо применять совмещение различных источников энергии, таких как солнечная, ветровая, дизель-генераторная и т. д. Преимущества гибридной генерации – это, в первую очередь меньшая необходимость в накопителях энергии. Управление гибридной системой основано на поддержании энергобаланса: $P_{\text{нагр}} = P_{\text{ветр}} + P_{\text{солнечн}} + P_{\text{накопит}}^* - P_{\text{потери}}$, * здесь, в общем случае, $P_{\text{накопит}}$ может служить как источником энергии для потребителя так и нагрузкой для генераторов.

Схема управления гибридной системой с общей шиной низкого напряжения 12В представлена на рисунке.

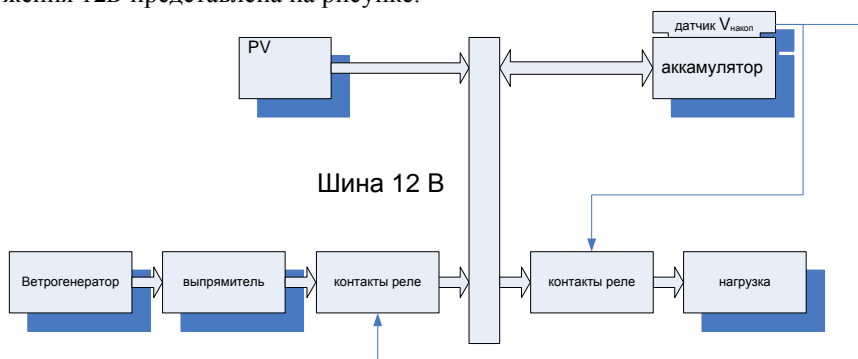


Схема управления гибридной системой с общей шиной низкого напряжения 12 В

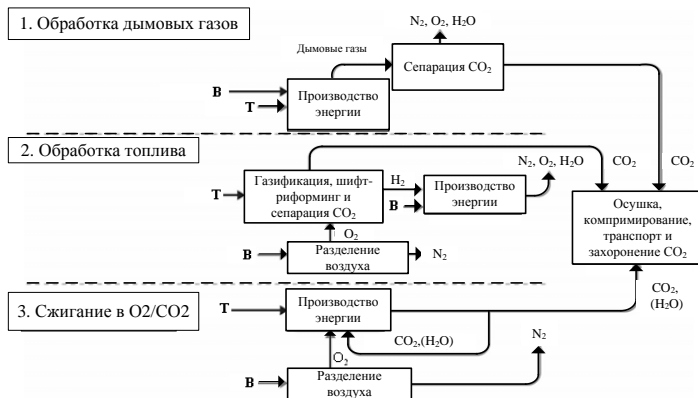
Здесь для управления системой можно задаться контрольным параметром – величиной напряжения на клеммах аккумулятора-накопителя $U_{\text{накопит}}$, которая определяет степень его зарядки. При этом за основной генератор можно взять солнечную панель, тогда дополнительный (ветровой или дизель-генераторный) будет подключаться в зависимости от величины $U_{\text{накопит}}$. При снижении $U_{\text{накопит}}$ ниже определенного порогового значения, что представляет для системы аварийный режим, датчик напряжения дает сигнал на отключение нагрузки.

Методы снижения выбросов CO_2 в атмосферу при сжигании органического топлива

Хутская Н. Г., Пальченок Г. И.

Белорусский национальный технический университет

Перспективным газообразным агентом торрефакции является CO_2 , применение которого в замкнутом цикле с утилизацией избыточного количества позволяет снизить его выбросы в атмосферу. На рисунке приведена классификация способов снижения выбросов CO_2 при сжигании органического топлива. 1 – связана с извлечением из дымовых газов CO_2 с помощью физико-химических методов, применение которых мало эффективно в связи с большими объемами обрабатываемых газов и низкой концентрацией в них CO_2 . 2 – термохимическая конверсия топлива перед сжиганием, концентрация CO_2 в продуктах повышается путем использования кислородного дутья или непрямого подвода тепла. Удаленный из продуктов конверсии CO_2 возвращается на вход в реактор, а избыток сжимается компрессором и утилизируется.



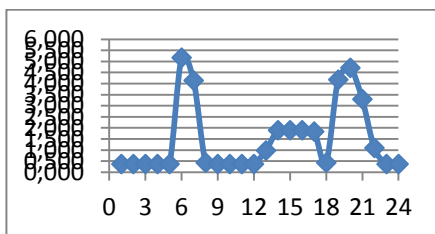
3 – наиболее перспективный способ минимизации эмиссии CO_2 – сжигание топлива в смеси кислорода O_2 и CO_2 , рециркулирующего в системе сжигания по замкнутому контуру. Продукты сгорания в такой системе – в основном CO_2 и H_2O , которые легко удалить конденсацией, после чего CO_2 в дымовых газах достигает 95%. Частично он возвращается на вход в камеру сгорания, может утилизироваться в процессе термохимической переработки топлива, а избыток сжимается до 7 МПа, в результате чего жидкий CO_2 готов к транспортировке и захоронению в подземных или подводных полостях.

Использование накопителя энергии для формирования графика нагрузки индивидуального потребителя

Червинский В. Л., Бурькина Н. В.

Белорусский национальный технический университет

Как известно индивидуальные потребители, а именно: дома индивидуальной застройки, частные коттеджи и т. д., обладают ярко выраженной неравномерностью энергопотребления. Типичный график нагрузки частного дома выглядит так, как это показано на рисунке.



Характерный суточный график нагрузки частного дома.

Неравномерность энергопотребления приводит к повышенным потерям в электрических сетях, величина которых определяется коэффициентом формы графика нагрузки K_{ϕ} . Для равномерного графика $K_{\phi} = 1$ потери минимальны [1]. В последнее время многие индивидуальные потребителя оснащают энергосистему своего дома ветро и солнечными энергоустановками, которые тоже вносят свою долю неравномерности в энергобаланс. Для сглаживания графика нагрузки необходимо применение накопителя энергии, расчет емкости которого представляет собой трудоемкую инженерную задачу. С целью облегчения расчетов была создана соответствующая программа в программной среде МАТЛАБ, которая по графику нагрузки позволяет рассчитывать суточную потребляемую энергию домом, прогноз суточной выработки энергии от солнечной или ветроэнергоустановки, суточный небаланс энергии и суточная избыточную энергию для зарядки аккумулятора, коэффициент формы графика нагрузки, базовую мощность и коэффициент максимального нагрева проводников.

**Контроль масляных пятен как метод обнаружения утечки
из парокompрессионных холодильных установок**

Жук Н. П.

Белорусский национальный технический университет

Одна из проблем, с которой приходится сталкиваться при эксплуатации холодильного оборудования, это проблема потери рабочего вещества. Существует много методов обнаружения места утечки холодильного агента. Рассмотрим один из методов, который не требует применения специального оборудования. Метод заключается в тщательном контроле наличия пятен масла, вытекающего из системы вместе с холодильным агентом. Если просачивается масло, обладающее большей вязкостью и меньшей текучестью, то холодильный агент в этом месте обязательно вытекает. Обнаружить места большого скопления вытекшего масла не представляет особого труда. Гораздо сложнее обнаружить капельное вытекание масла. В этом случае многое зависит от внимательности, ответственности и профессиональных навыков персонала, обслуживающего холодильное оборудование. Существуют и свои особенности применения данного способа:

- при малой утечке обнаружение затруднено из-за необходимости длительного времени для вытекания даже малого количества масла;
- холодильное масло достаточно прозрачное, поэтому визуально обнаружить малую каплю масла бывает сложно, со временем вытекшее масло загрязняется и место утечки выглядит более контрастно;
- применение данной методики возможно не сразу после запуска установки, а только после отработки оборудованием определенного времени (иногда несколько месяцев), для того, чтобы масло могло распределиться по всей системе и просочиться через неплотность, хотя хладагент в этом месте уже будет вытекать;
- в местах, где нет циркуляции хладагента и соответственно масла (трубки к манометрам, реле давления, уравнивательные линии и др.) обнаружение будет затруднено, т.к. в этих местах масло находится в виде тумана и его вытекание будет не столь значительным и заметным.

Метод совершенно бесплатный не требующий применения никакого оборудования и инструмента, применять можно для всех типов хладагентов и практически в любой части холодильной установки. Метод универсален и прост, поэтому не зря во всех инструкциях по техническому обслуживанию указывается на обязательность контроля масляных пятен по всему контуру холодильной установки.

Опресовка как метод обнаружения утечки из парокompрессионных холодильных установок

Жук Н. П.

Белорусский национальный технический университет

Проблема потери рабочего вещества – одна из проблем, с которой приходится сталкиваться при эксплуатации холодильного оборудования. На сегодняшний день существует много способов обнаружения утечки холодильных агентов. Рассмотрим метод, который необходимо проводить еще до заправки контура холодильным агентом. Этот метод как раз и нацелен, чтобы выявить факт негерметичности системы на стадии монтажа.

Метод заключается в повышении давления в контуре системы (обычно не выше 10 бар) путём закачки сухого азота (без кислорода). Через некоторый промежуток времени (в идеале через сутки после закачки азота) следует проверить систему по манометру на предмет снижения уровня давления. Если давление осталось неизменным – система герметична. Любые изменения давления в меньшую сторону могут являться фактом негерметичности. Однако давление может меняться и при отсутствии утечек, если во время испытания значительно меняется температура (колебания более 5°C), это обусловлено изменением объема газообразного азота при изменении его температуры. Такие изменения подчиняются закону Шарля: $P_1/T_1 = P_2/T_2$, где давление и температура должны быть выражены в абсолютных величинах, соответственно в начале и конце испытания под давлением. После нескольких часов выдержки установки под давлением, если изменения давления не выходят за пределы, обусловленные законом Шарля, можно с уверенностью сделать вывод об отсутствии утечек.

Данный метод позволяет с высокой вероятностью выявить даже малейшие утечки в системе, однако можно определить только факт утечки, а не ее конкретное место. Испытания достаточно трудоемки, требуют применения специальных материалов и оборудования. Но они должны проводиться в обязательном порядке, так как в дальнейшем помимо потери хладагента, из-за чего установка может быть выведена из строя, потребуются проводить весь комплекс мероприятий по повторной пуско-наладке оборудования и обнаружить утечку будет уже гораздо более проблематично.

Глобальный курс в области энергетики для реализации устойчивого развития

Любчик О. А.

Белорусский национальный технический университет

Саммит по Устойчивому развитию состоялся 25 сентября 2015 года в Нью-Йорке. На нем государства-члены ООН утвердили Повестку дня в области Устойчивого Развития на период до 2030 года, в которой названы 17 Целей Устойчивого Развития (ЦУР). Эти цели также известны как Глобальные Цели, они были сформулированы на базе восьми Целей Развития Тысячелетия (ЦРТ), направленных на борьбу с нищетой и изменениями климата, на обеспечение общего благополучия и сохранение природных ресурсов. Достичь ЦРТ мир стремился в срок до 2015 года.



Логотип Цели Устойчивого развития № 7

Цель Устойчивого Развития под номером 7 связана с энергетикой и звучит как «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех». Планируется, что при достижении этой Цели к 2030 году:

- будет обеспечен всеобщий доступ к энергообеспечению по невысокой цене и с максимально возможной бесперебойностью снабжения,
- во всем мире заметно повысится часть энергии, получаемой от возобновляемых источников энергии,
- увеличится минимум в два раза глобальный индекс повышения энергоэффективности.

Также достижение Цели 7 подразумевает активизацию взаимодействия между странами, увеличение вложений капитала в энергетическую инфраструктуру и технологии энергетики с меньшим влиянием на окружающую среду. Успешность реализации всех 17 Целей будет оцениваться при помощи перечня глобальных показателей (индикаторов). По мнению ООН, переход к недорогой, надежной и устойчивой энергетической системе может осуществиться быстрее при достаточном объеме инвестиций в возобновляемую энергетику и рациональном обращении с энергией

Беларусь на пути к устойчивому энергетическому развитию

Любчик О. А.

Белорусский национальный технический университет

Беларусь вошла в перечень 193 государств, принявших Повестку дня в области устойчивого развития (Повестка–2030) и взяла на себя обязательства достичь всех семнадцати, названных в Повестке, Целей устойчивого развития к 2030 году.

Основные документы, на базе которых будет проводиться движение в направлении устойчивости развития в стране – это Национальная стратегия устойчивого развития Беларуси на период до 2030 года (была принята 2 мая 2017 г.) и Программа социально-экономического развития до 2020 года (была утверждена 15 декабря 2016 года). К вышеназванным документам стоит добавить и отраслевые и региональные программы. Для обеспечения слаженной работы в достижении установленных целей Повестки–2030 был выбран Национальный координатор по достижению Целей устойчивого развития и определен Совет по устойчивому развитию.

В соответствии с Дорожной картой, близость к достижению Цели 7 «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех» будет оцениваться по следующим показателям: часть населения, обеспеченного доступом к электрической энергии; отношение энергии, полученной из возобновляемых источников энергии к полному потреблению энергии из всех ТЭР; энергоёмкость ВВП и размер вложений в энергетическую отрасль в процентах от общего количества инвестиций в основной капитал.

В период до 2020 года развитие энергетической отрасли будет направлено на увеличение энергетической эффективности уже существующих тепловых электростанций и развитие неуглеродной энергетики. Во второй период с 2021 и до 2030 года большее внимание будет уделяться увеличению энергетической независимости Беларуси, которого можно будет добиться при помощи применения атомной энергетики и энергетики, основанной на возобновляемых источниках энергии. В связи с этим планируется развитие ветро- и гидроэнергетики, технологий на биогазе, солнечной и геотермальной энергетике, а также дальнейшее строительство энергоисточников на древесном топливе. Кроме этого есть проекты по применению отходов сельского хозяйства, твердых бытовых отходов, биодизеля и этанола в качестве топлива.

В Национальной стратегии устойчивого развития РБ отмечены и пока не полностью реализованные возможности в области энергосбережения.

Основные направления энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве Республики Беларусь

Климович С. В., Янцевич И. В.

Белорусский национальный технический университет

Жилищно-коммунальное хозяйство Республики Беларусь (ЖКХ) является одним из наиболее крупных потребителей ТЭР. На долю жилого фонда Беларуси приходится более 55 % потребления произведенной в стране тепловой энергии. Обобщенные энергетические затраты ЖКХ составляют порядка 7 % от потребляемых, их структура: котельно-печное топливо - 75,6 %; электроэнергия – 20,4 %; тепловая энергия – 4 %. В эксплуатации находится более 161,4 млн. м² многоквартирного жилищного фонда, с общей площадью более 250 млн м². Значительная часть фонда имеет невысокую энергоэффективность, не соответствует действующим нормативам требованиям теплозащиты основных ограждающих конструкций и имеет высокие удельные показатели энергопотребления (от 160–200 кВт·ч/м² в год), а отдельные – более 200–250 кВт·ч/м² в год данные 2017 года [1].

Таким образом, один из основных резервов энергосбережения находится в жилищном фонде Республики Беларусь. Последовательное снижение затрат на предоставляемые жилищно-коммунальные услуги можно обеспечить путем реализации следующих технических мероприятий: продолжение модернизации действующих энергоисточников [2]; сокращение потерь тепловой энергии при ее транспортировке; комплексная тепловая модернизация эксплуатируемого жилищного фонда; внедрение автоматических систем управления освещением мест общего пользования жилищного фонда с энергоэффективными осветительными устройствами; снижение энергетических затрат в водопроводно- канализационном хозяйстве; использование местных топливно-энергетических ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии.

УДК 697(075.8)

К вопросу фактических показателей энергоэффективности современных зданий

Янцевич И. В.

Белорусский национальный технический университет

Ввод в эксплуатацию новых зданий, даже если они обладают заявленным низким энергопотреблением, практически не сказывается на энергопотреблении всего многоквартирного жилого фонда в целом, поскольку существующий фонд с высоким удельными показателями энергопотребления (от 160–250 кВт·ч/м² в год), в десятки раз превышает введенные в эксплуатацию здания [1–2]. Необходимо принципиально изменить существующий подход к оценке показателей энергоэффективности существующих зданий. Подтверждение класса энергоэффективности здания, основывается лишь на прогнозируемом, расчетном возможном уровне потребления энергии, основой которого являются паспортные, проектные данные. Контроль одного из основных показателей энергоэффективности здания – удельного расхода энергии – фактически возможно определить только при проведении инструментальных измерений в ходе его эксплуатации. Эти работы по установлению (подтверждению) класса энергоэффективности здания необходимо проводить в период двух-трех лет эксплуатации здания. Для получения этой информации по ежемесячному потреблению тепловой энергии на отопление можно использовать упрощенную методику измерения удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию для расчетных условий [3].

Полученная информация, позволит точно определить класс энергопотребления здания и наметить конкретные инженерные решения, для его повышения, то есть снижения энергопотребления здания.

Экспериментальное исследование влияния магнитофореза и броуновской диффузии на плавание магнитного тела в магнитной жидкости

¹Климович С. В., ²Кужир П. П., ³Балабанова О. В.

¹Белорусский национальный технический университет, Минск
(Республика Беларусь)

²Университет Ниццы-София Антиполис (Франция)

³УЗ «10-я городская больница г. Минска», Минск (Республика Беларусь)

Для изучения влияние магнитофореза и броуновской диффузии в статической системе по плаванию магнитного тела в магнитной жидкости (МЖ) была создана экспериментальная установка рис. 1, Объем магнитной жидкости (1) находящейся кювете (1), размещенной на немагнитной опоре (6). В объеме МЖ находится прямоугольный феррит-бариевые магнит (ФБМ) (3) с маяком (4) из немагнитного материала, длина маяка $l = 12$ мм, с диаметром $d = 0,5$ мм. Размеры используемых в экспериментах ФБМ №1 и 2 $10 \times 20 \times 5$ мм, имеют следующие характеристики создаваемого им неоднородного магнитно поля: №1 $B = 38,3$ мТ, $H = 30,9$ кА/м, $\text{grad } H = 4897$, кА/м², значения безразмерного параметра $U = 3,9$, №2 $B = 81,50$ мТ, $H = 64,9$ кА/м, $\text{grad } H = 15324$, кА/м², $U = 4,4$. Кювета с МЖ закрыта крышкой (6) для предотвращения испарения магнитной жидкости. Магнит плавает в объеме магнитной жидкости, не касаясь дна, положение магнита в жидкости фиксируется катетометром КМ-8 (7) с точностью до 0,01 мм по маяку. Относительное изменение положения феррит-бариевого магнита с нагруженным поршнем относительно дна кюветы в МЖ ММтр-31, показано на рис. 2, где h_0 обозначено положение магнита относительно дна кюветы в начальный момент времени, h – в последующее время. Как видно из рисунка 2 изменение положения магнита в объеме МЖ изменяется в течение 200–250 минут, затем стабилизируется за счет увеличения концентрации частиц МЖ вокруг феррит-бариевого магнита.

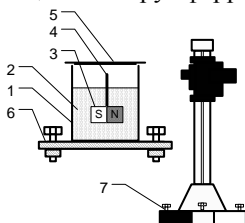


Рис. 1

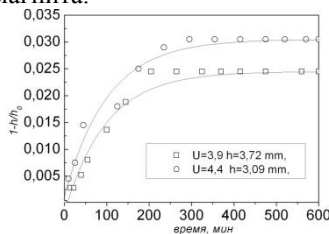


Рис. 2

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Информационные системы и технологии

**Алгоритмы оценивания параметров объектов на изображениях
для бортовых систем обработки информации**

Арефьев Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения надежного функционирования в условиях непредсказуемой и постоянно-изменяющейся обстановки бортовые системы должны анализировать всю имеющуюся информацию. Одним из наиболее важных источников информации являются изображения окружающей обстановки. Можно выделить большой класс бортовых систем, связанных с получением, обработкой и анализом изображений и обеспечивающих информационную поддержку при решении целевых задач полета и задач управления летательным аппаратом. Примерами таких систем служат системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов, системы улучшенного и синтезированного видения, системы определения положения и ориентации летательного аппарата (ЛА) по визуальным ориентирам.

В процессе работы бортовые системы анализа изображений решают различные задачи. Так, на этапе движения в заданную точку маршрута должны решаться задачи навигации, обнаружения препятствий, высотных зданий. На этапе решения целевых задач полета необходимо обнаруживать и сопровождать объекты интереса. Вместе с тем можно выделить ряд особенностей, которые объединяют перечисленные задачи. Во-первых, это характер условий наблюдения: наличие ракурсных искажений вследствие движения носителя и поворотов видеодатчика; наличие яркостных искажений, вызванных неоднородностью оптической среды и погодными явлениями; наличие специфических искажений, связанных с заслонением объектов интереса. Во-вторых, в каждом из перечисленных выше классов систем конечная задача часто сводится к оценке параметров объектов интереса:

- в системах автосопровождения результаты оценки параметров используются для вычисления сигналов рассогласования и управления приводами поворотной платформы с видеодатчиком;
- в системах улучшенного и синтезированного видения по данным оценки параметров объектов осуществляется совмещение изображений какабинной обстановки с виртуальной моделью или картой местности;
- в системах навигации ЛА выполняется обнаружение и оценка параметров заданных опорных участков с известными географическими координатами.

**Фильтрация сигналов при низкочастотных помехах
в измерительно-информационных системах
беспилотных летательных аппаратов**

Арефьев Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

Во многих оптико-электронных и радиотехнических измерительно-информационных системах беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) помехи имеют низкочастотный спектр, близкий к спектру полезных сигналов, несущих информацию о координатах объектов наведения БПЛА. Это осложняет задачу фильтрации по сравнению с традиционным подходом, использующим фильтры Калмана при высокочастотных шумах. Классический способ решения с помощью формирующих фильтров, основанный на расширении вектора состояния системы, как правило, оказывается непригодным вследствие расходимости оценок.

Наилучшим решением задачи фильтрации при низкочастотных помехах является применение оптимальных фильтров, в которых используется так называемое «отбеливание шумовой помехи». Оно состоит в том, что выходной сигнал измерителя, содержащий низкочастотную помеху, пропускается через формирующий широкополосный фильтр с целью получения некоторой смеси полезного сигнала с белым шумом. Преобразованный таким образом сигнал поступает на низкочастотный фильтр, формирующий оптимальную оценку полезного сигнала.

Недостатком оптимальных фильтров является неоправданная сложность их реализации при решении прикладных задач. Это объясняется неизбежной неадекватностью математической модели, используемой при синтезе реальной исследуемой системы. Поэтому полученные «оптимальные» решения на самом деле являются лишь условно-оптимальными в рамках принятой математической модели.

Особенно остро эта проблема ощущается при построении алгоритмов навигации и наведения БПЛА с их жёсткими ограничениями по быстродействию и памяти бортовой ЭВМ. Поэтому целесообразно вместо оптимальных решений использовать существенно более простые приближённо-оптимальные решения, которые при практическом применении мало бы уступали оптимальным в точности. Одним из эффективных способов решения этой проблемы является замена дифференциальных уравнений для коэффициентов, определяющих полосу пропускания оптимального фильтра, их установившимися значениями, вычисляемыми по алгебраическим формулам, получаемым из дифференциальных уравнений.

Уровни представления радиолокационных данных в спутниковых системах дистанционного зондирования Земли

¹Богущ Р. П., ²Наумович Н. М.

¹Полоцкий государственный университет

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

С момента появления коммерчески доступных систем обработки радиолокационных данных появилась необходимость их стандартизации, которую рекомендует комитет по спутниковым наблюдениям Земли и (Committee on Earth Observation Satellites – CEOS). CEOS выделяет пять уровней представления радиолокационных данных космической съемки: необработанные данные, которые представляют собой радиоголограмму и набор метаданных; предварительно обработанные данные, для которых выполнена радиометрическая и геометрическая коррекция; вторично обработанные данные, имеющие к тому же пространственную привязку в заданной системе координат. Однако, некоторые космические агентства, базируясь на принятых стандартах, используют свои представления и обозначения уровней. Известно, что чем ниже уровень обработки данных, тем меньше вероятность возникновения ошибок, достаточно просто организовать изменение алгоритмов при обработке, возможны максимальная автоматизация процесса и сокращение времени обработки и объема памяти. Однако, их сложнее всего привести к единому формату из-за различных характеристик и режимов работы аппаратных комплексов и самих первичных датчиков. В таблице приведены уровни и форматы представления радиолокационных данных систем ДЗЗ.

Таблица

Уровни и форматы представления радиолокационных данных

Спутниковые системы	ENVISAT	RADARSAT-1	JERS-1	ALOS-1	COSMO-SkyMed	ALOS-2	SENTINEL-1	TerraSar	RADARSAT-2
Формат	ENVISAT	CEOS SKY Telemetry	CEOS	CEOS	HDF5	CEOS	GeoTIFF	COSAR	GeoTIFF
Уровень	0				0 и 1		1		

Обработка видеоданных с широким динамическим диапазоном яркости

Голуб Ю. И.

Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси

Видеоданные – информация, представленная в формате видеозаписи (цифровой или аналоговый сигнал, несущий информацию об изображении и сопутствующем звуке). Видеоданные характеризуются разрешением, частотой кадров, системой представления цветов. Видеоданных с широким динамическим диапазоном яркости (HDR – High Dynamic Range) могут иметь глубину цвета 10 и более бит на канал (от миллиарда оттенков и выше). Устройство, отображающее такие данные (телевизор, проектор, монитор и т.п.), должно правильно работать с широким динамическим диапазоном яркости так, чтобы все оттенки и градации были видны, а детали, как в ярких, так и в темных областях, не сливались в пятна.

Для отображения HDR-видеоданных на устройствах со стандартным динамическим диапазоном (SDR – Standard Dynamic Range) необходимо решить две задачи: выбрать метод сжатия динамического диапазона яркости.

В экспериментах для сжатия динамического диапазона HDR-видеоданных с глубиной цвета 10 бит на канал использовались различные преобразования, например: преобразование типа $A(A > 255) = 255$ (где A – матрица исходных значений яркости), преобразования основанные на μ -законе и другие нелинейные логарифмические преобразования.

Различные варианты сжатия динамического диапазона применялись покадрово, т.к. видео можно рассматривать, как неподвижные изображения, сменяющие друг друга с определенным интервалом времени (что создает эффект движения объектов на экране).

Экспериментальный анализ существующих алгоритмов преобразования динамического диапазона яркости для HDR-видеоданных показал, что существующие глобальные методы сжатия динамического диапазона работают быстро, но дают результаты сомнительного качества. Для сжатия динамического диапазона предлагается использовать нелинейное преобразование логарифмического типа с вычисляемым по исходным кадрам параметром.

В отличие от других преобразований, предложенный вариант сжатия диапазона у HDR-видеоданных позволяет сохранить все оттенки и градации яркости, а также детали в ярких и в темных областях.

Беспилотные летательные аппараты Национальной академии наук Беларуси

Лобатый А. А., Яцына Ю. Ф.

Белорусский национальный технический университет

Головной организацией подпрограммы по созданию и освоению производства гаммы технологий и элементов летательных аппаратов, целевых нагрузок и беспилотных авиационных комплексов (БАК) многофункционального назначения является государственное предприятие «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси. Производственно-технологическая база РУП НПЦ МБК НАНБ оснащена современным производственным и технологическим оборудованием, обеспечивающим все жизненный циклы создания сложных высокотехнологических систем (от макетирования, испытаний, измерений до серийного выпуска многофункциональных БАК).

В настоящее время ведутся разработки и серийный выпуск продукции по следующим направлениям: БАК класса «мини» типа «Бусел» и его модификации «Бусел М», «Бусел М40», и «Бусел М50» весом от 8 до 14 кг и радиусом действия до 70 км, тактические БАК «Буревестник», в зависимости от типа целевой нагрузки весом от 250 до 350 кг. и радиусом действия до 300 км. На предприятии также налажен выпуск БАК экологического мониторинга на базе дирижаблей. Ведутся разработки нового многофункционального беспилотного летательного аппарата весом до 700–850 кг, с массой целевой нагрузки до 120 кг, которые в перспективе могут быть переоборудованы в пилотируемый самолет.

Кроме создания беспилотных летательных аппаратов (БЛА) ведется разработка для них систем управления и оптических телевизионных, инфракрасных, мультиспектральных систем наблюдения, установленных на гиостабилизированных платформах. Разрабатывается также различное испытательное и стендовое оборудование для полунатурного моделирования ситуаций полета, а также тренажеры для подготовки операторов БАК.

Разработанные и серийно выпускаемые в РУП НПЦ МБК БАК способны осуществлять поиск, обнаружение и сопровождение подвижных объектов с возможностью определения их координат, а большой спектр выпускаемых типов целевой нагрузки и высокие аэродинамические качества летательных аппаратов позволяют использовать их для решения самого широкого круга задач.

**Визуализация информации в системе формирования навыков
владения иностранным языком**

Марзалюк А. В.

Белорусский национальный технический университет

Даётся краткий обзор системы формирования навыков владения иностранным языком, а также примеры графиков, иллюстрирующих прогресс, в данной и схожих системах.

В настоящее время, с приходом глобального рынка, технологий, интернета, свободы передвижения и мета жительства необходимость знать иностранный язык, а то и несколько только усилилась. Специалисту, учёному, туристу необходимо знание иностранного языка, поскольку даже современные технологии переводчиков не дают хороший уровень перевода и годятся в основном для того чтобы понять или передать общий смысл фразы или текста.

Системы формирования навыков владения иностранным языком стали стремительно развиваться с развитием интернета и операционных систем способных работать с мультимедиа. На данный момент интернет ресурсы вытеснили программы для настольных компьютеров, параллельно им широкое распространение имеют системы для мобильных устройств. Современные системы аккумулировали в себя множество методик обучения и являются простыми (пример: ANKI, реализация системы интервальных повторений) либо сложными (пример: Lingo Leo, Lim-English, DUOLingo и т.д.), обеспечивая эффективное формирования знаний и навыков. Визуализация информации является непосредственной частью этих систем помогающая как разработчикам и учителям, помогая улучшить программу и методики или корректировать процесс обучения, так и самим обучающимся, которые имеют полное представление о своих успехах, либо неудачах, которое также может повысить самоконтроль.

Сбор, обработка и последующая визуализация информации необходима для контроля и корректировки процесса обучения. Существует множество способов визуализации информации: в виде графиков, диаграмм, инфо-графики. Основными способами же являются визуализация прогресса с помощью графиков с несколькими осями.

Поскольку системы основываются на различных методиках обучения то есть необходимость оценки этих методик сравнения их, в том числе при помощи визуализации, и. В последствии результаты можно использовать для создания эффективной системы по формированию навыков иностранного языка.

Построение нейронной сети и тестирование на примере параметрической модели конструкции балки

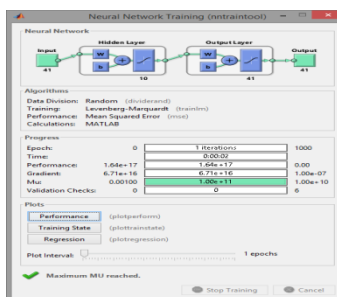
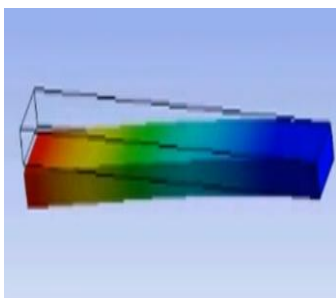
¹Обиходов П. А., ²Соловьев А. Н., ³Скалиух А. С., ¹Напрасников В. В.

¹Белорусский национальный технический университет

²Донской государственный технический университет

³Южный федеральный университет

Целью данной работы было построение и обучение нейронной сети на основании результатов анализа напряженно-деформированного состояния конструкции под действием нагрузки (рисунок).



Деформированное состояние конструкции и параметры нейронная сеть в MATLAB

В пакете MATLAB, при помощи инструмента Neural Network Toolbox строим двухслойную однонаправленную нейронную сеть. Число входов – 3, что соответствует параметрам конструкции. Выход – 1, что соответствует создаваемому напряжению в конструкции. В первом слое, состоящем из четырех нейронов, используется дифференцируемая функция активации гиперболического тангенса TANSIG. Во втором слое, состоящем из двух нейронов, используется логарифмическая сигмовидная функция активации LOGSIG. Последний слой является выходом сети.

Нейронная сеть была обучена на основании результатов проведенного анализа напряженно-деформированного состояния балки. Для обучения были взяты двадцать результирующих различных значений напряжения, создаваемого в объекте, и соответствующие входные параметры. После обучения, нейронная сеть была протестирована на основании известных входных параметров. Выходные значения совпали с известными значениями напряжения. На основании этого можно сделать вывод, что нейронная сеть была построена и обучена успешно.

**Реализация имитационной модели динамической системы
в вычислительной среде MathCad**

Кочеров А. Л., Кочерова В. А., Боровок О. А.
Белорусский национальный технический университет

Для имитационного моделирования систем в настоящее время широко используются разнообразные программные средства, такие, например, как система имитационного моделирования GPSS, программный комплекс MATLAB/Simulink, специализированный программный продукт AnyLogic и ряд других. Каждый из них имеет свои несомненные преимущества и достоинства при решении задач имитационного моделирования, связанных с определенным кругом систем. Так GPSS наиболее эффективен при моделировании систем массового обслуживания, MATLAB/Simulink – для моделирования систем управления техническими объектами, AnyLogic ориентирован на моделирование процессов в производственных и бизнес системах.

Вместе с тем, достаточно часто приходится моделировать процессы в динамических системах, математическая модель которых позволяет эффективно использовать пакет прикладных программ MathCad. Так, если процесс функционирования исследуемой системы формализуется в рамках дискретно-стохастической модели и описывается графом вероятностного автомата, то имитационное моделирование можно весьма просто осуществить в среде MathCad. Для этого достаточно записать две процедуры. Первая из них обеспечивает «случайное» изменение состояния системы за один шаг по времени.

Входными (формальными) параметрами процедуры являются номер текущего (начального) состояния и матрица одношаговых вероятностей перехода системы, в результате выполнения процедуры определяется номер состояния системы на последующем шаге.

Вторая процедура моделирует поведение системы за произвольное (задаваемое) число шагов. В качестве фактических параметров процедур на этапе моделирования выступают начальное состояние системы, число шагов (длина) реализации и матрица одношаговых вероятностей перехода, которая записывается на основании ориентированного графа системы.

Таким образом может быть получено произвольное число реализаций процесса функционирования системы.

При необходимости определения характеристик системы результаты моделирования могут быть подвергнуты статистическому анализу, который также удобно выполнить в программной среде MathCad.

Анализ эффективности управления в иерархических структурах с помощью вероятностных моделей

Ивановский А. В., Кочеров А. Л.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Иерархическая структура отражает реализацию управления по принципу «сверху вниз». В иерархической структуре элементы распределены по уровням. Каждый элемент более высокого уровня может быть связан с элементами нижнего уровня, а элемент нижнего уровня может быть связан (подчинен) только с одним элементом более высокого уровня. На первом уровне может располагаться только один элемент, который является «вершиной» иерархической структуры.

Сложную иерархическую структуру системы управления можно в результате декомпозиции представить в виде совокупности отдельных линий управления. Другими словами, линия управления сама по себе является существенным элементом системы управления. Поэтому эффективность функционирования системы в целом зависит от эффективности работы таких линий. Особую роль при этом играет «человеческий фактор», который проявляется в существенной нестационарности и нелинейности протекающих в линии процессов. Эта непредсказуемость в поведении подобной линии управления может быть учтена в рамках вероятностного подхода к анализу эффективности функционирования линии.

Для исследования эффективности работы отдельной линии управления могут быть использованы математические модели аналогичные моделям технических систем управления. Данный подход позволяет проводить расчеты и более обоснованно выбирать наилучшие способы организации работы линий управления, гарантирующие требуемые характеристики качества. При исследовании линии управления прежде всего возникают две задачи:

1) определение вероятности выполнения распоряжения на конце линии, когда на её вход поступает сигнал (в этом случае операция – выполнение распоряжения, является требуемой);

2) определение вероятности проведения операции на конце линии, когда на её вход не поступает распоряжение (в этом случае выполняемая операция оказывается ложной).

В рамках подобной математической модели можно анализировать вероятностные характеристики линии, состоящей из произвольного числа элементов управления. В докладе обсуждаются вопросы проведения экспериментов с моделью, приводятся результаты моделирования.

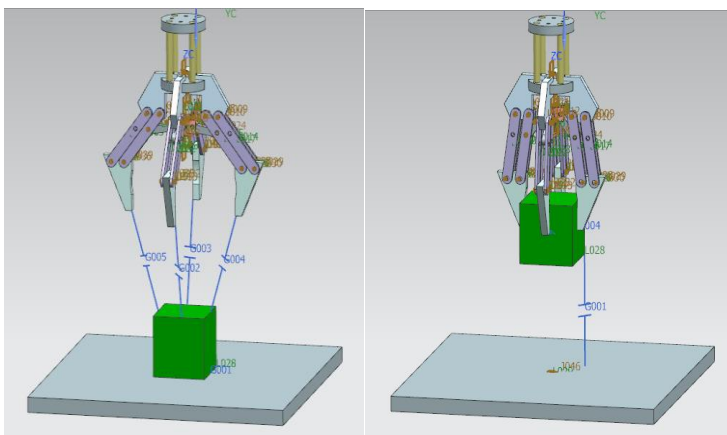
Симуляция движения схвата манипулятора в среде NX

Масло Д. О., Напрасников В. В.

Белорусский национальный технический университет

NX – это интерактивная система, предназначенная для автоматизированного проектирования, изготовления и расчетов изделий.

Схват – устройство, в котором захватывание и удержание объекта производится посредством относительного перемещения частей данного устройства. В результате возвратно-поступательного движения ползуна по направляющей, приводятся в движение захватывающие части устройства. Захват объекта осуществляется с помощью механических «пальцев». Манипулятор предназначен для выполнения двигательных функций при перемещении объектов в пространстве.



Начальная и конечная точки симуляции

В процессе симуляции было реализовано возвратно-поступательное движение схвата с захватом груза и возвратом в начальную точку (рисунок). Движение задано при помощи шарниров: вращательный и ползун, а также 3D-контактов с включением кулоновского трения.

Для поступательных шарниров типа ползун заданы дискретные законы движения.

Выполнено решение задачи, в результате чего возможен просмотр результатов нагружения каждого соединения и анимация движения.

**Особенности процесса автоматизации диалога с пользователем
в системе электронного предоставления услуг**

Шинкоренко В. К.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Развитие сферы электронных услуг является важной и актуальной задачей. В Республике Беларусь комплекс программно-технических и организационных решений, направленных на предоставление услуг в электронном виде, принято называть «Электронным правительством». Расширение перечня оказываемых электронных услуг неизбежно связано с усложнением системы в целом, что, свою очередь, может привести к затруднению использования этой системы со стороны начинающих пользователей или лиц, обладающих слабыми навыками применения современных информационных технологий в повседневной жизни.

Решению задачи облегчения диалога пользователя и системы оказания электронных услуг может помочь автоматизация процесса коммуникации пользователей. При этом одним из направлений исследования является интегрирование современных технических решений с возможностями систем искусственного интеллекта. Такой подход может стать шагом в решении более общей задачи – создания условий для использования электронных услуг, стимулирующих их востребованность.

В рамках данного подхода автоматизация диалога с пользователем в системе электронного предоставления услуг является инструментом, обеспечивающим комфортные и действительно эффективные условия для получения пользователем всего спектра электронных услуг. Заложенный в системах искусственного интеллекта потенциал адаптации, конечно же, способствует расширению возможностей обсуждаемого решения. Однако раскрытию этого потенциала препятствует ограниченная формализуемость некоторых аспектов живого общения пользователя с существующими интерфейсами систем электронных услуг.

В контексте решения данной задачи предлагается использовать автоматические диалоговые системы в популярных чат-приложениях (например, «Вайбер»). Подобные системы позволяют пользователям, обладающим слабыми навыками применения таких технологий как веб-сайты или мобильные приложения, иметь возможность получать интересующую их информацию в удобном виде и взаимодействовать с порталами электронных услуг посредством передачи информации через диалоговый интерфейс с помощью естественного языка. В докладе обсуждаются вопросы построения автоматических диалоговых систем.

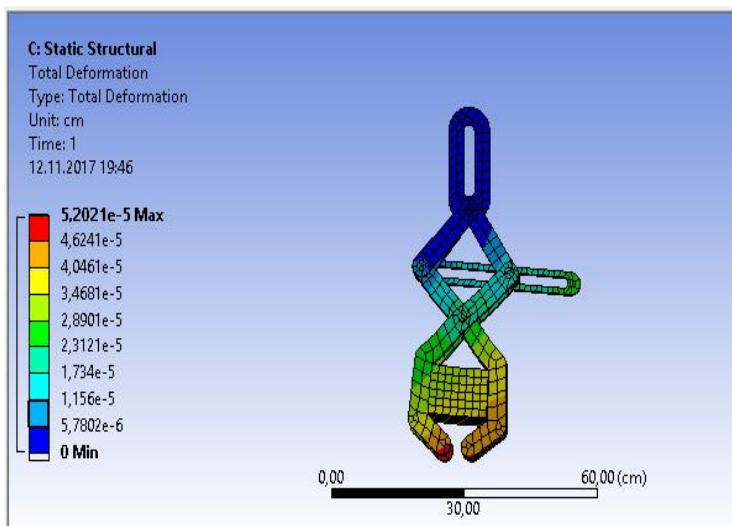
Конечно-элементная модель грузоподъемного устройства

Шавель А. В. Напрасникова Ю. В., Боровок О. А., Ермилов В. В.
Белорусский национальный технический университет

Грузоподъемный захват - устройства предназначены для подъема и перемещения груза. Простая, надежная конструкция позволяет фиксировать захват как в открытом, так и закрытом положении. В результате приведения в движение рукоятки, приводятся в движение захватывающие части устройства.

Захват объекта осуществляется с помощью механических «шупальщ».

Целью данной работы было построение модели грузоподъемного захвата и проведения анализа напряженно-деформированного состояния конструкции (рисунок).



Деформированное состояние

Результаты анализа показали, что максимальное суммарное перемещение составило 0,0005 мм и максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу равно 1 МПа при силе тяжести груза в 22 кг.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная конструкция является работоспособной и поскольку максимальное напряжение не превышает предела текучести материала (250 МПа), то в дальнейшем можно улучшить проект на основе оптимизации.

Задачи управления электромобилями

Петренко Ю. Н.

Белорусский национальный технический университет

Заботы о состоянии окружающей среды и экономии энергии являются важнейшими в ближайшей перспективе и за ее пределами.

Автомобильный транспорт в его классическом исполнении является главным источником загрязнения атмосферы. Разработка электроприводного транспорта (ЭТ) во всех его модификациях: электромобили (EV), гибридные электромобили (HEV) и электромобили с возможностью электрической подзарядки (PHEV) является актуальной задачей, поскольку при этом предусматривается использование относительно недорогой электроэнергии, которая в самом благоприятном случае может быть получена из возобновляемых источников. Наиболее существенные преимущества в эксплуатации демонстрируют PHEV, тем не менее их высокий уровень капитальных затрат и стоимость обслуживания являются сдерживающими факторами широкому распространению факторами.

Естественно возникает задача оптимизации управления ЭТ, которая должна учитывать все возможные варианты эксплуатации. Разработка оптимального во всех аспектах управления должна содержать следующие функциональные блоки: 1 – блок планирования оптимального маршрута (БПОМ); 2 – блок минимизации потребления энергии (БМин); 3 – блок обеспечения экологической эксплуатации (БОЭк). Кажущиеся противоречия устраняются при постановке задачи и определении ограничений.

До сих пор не рассматривались вопросы конструктивных решений: электродвигателя (ЭД), силового преобразователя (СП) и оптимизация управления ими, которые также не являются окончательно решенными задачами. Например, альтернативными решениями по выбору ЭД являются: асинхронный короткозамкнутый двигатель с векторным управлением; синхронный двигатель с постоянными магнитами и его новейшая модификация-с инкорпорированными постоянными магнитами.

В БПОМ решается задача выбора маршрута перемещения из А в Б при существующих в данный момент дорожных условиях, интенсивности трафика (с прогнозом на ближайшую перспективу) и иных факторов, влияющих на движение. При этом учитываются хранящиеся в памяти предыдущие маршруты. Иная задача решается в блоке БМин, где главным является минимальный расход энергии.

Функциональные возможности обучающей системы CATS

Попова Ю. Б.

Белорусский национальный технический университет

В предлагаемой обучающей системе CATS (Care About The Students), доступной в локальной сети университета по адресу [172.16.11.72:2020], предусмотрены 4 функциональные роли пользователей:

1) Администратор: создание\редактирование\удаление студенческих групп, преподавателей, студентов; сброс пароля пользователям; обмен сообщениями с пользователями; поиск, сортировка пользователей; просмотр статистики посещения системы пользователями.

2) Преподаватель: создание-редактирование-удаление предметов; формирование предмета из предлагаемых блоков (лекции, практические занятия, лабораторные работы, курсовые проекты, тестирование знаний, учебно-методический комплекс); прикрепление групп к предметам, разделение студентов на подгруппы (если требуется для лабораторных работ); организация проведения занятий с прикреплением заданий и требуемых материалов, ведением электронного журнала, формированием графика защиты работ, расчета модульно-рейтинговой оценки по предмету; формирование тестов для контроля и самоконтроля знаний студентов, организация проведения автоматизированного тестирования, ведение статистики результатов; организация курсового и дипломного проектирования, назначение\подтверждение тем проектов, автоматическая генерация листов заданий к проектам с последующим экспортом в редактор MS Word; использование SCO-объектов, созданных по технологии SCORM в других системах управления обучением; создание УМК (учебно-методических комплексов), аудио, видео, анимации; обмен сообщениями с пользователями системы.

3) Студент: просмотр\скачивание всей предоставленной информации; изучение учебно-методических материалов в УМК; прохождение тестирования и самотестирования; выбор тем для курсового и дипломного проектирования, отслеживание процентов выполнения проектов; просмотр SCO-объектов и прохождение встроенных в него тестов; обмен сообщениями с преподавателями и администратором.

4) Наблюдатель – это роль для неавторизованных пользователей, например, работников деканата, кафедры или родителей, которые могут посмотреть интересующую их информацию о результативности учебного процесса: количество пропущенных занятий студентами, количество защищенных работ, оценки за тесты, рейтинговые оценки студентов и др.

Обработка данных сканирующей зондовой микроскопии

Рабцевич В. В., Цветков В. Ю.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) применяются для исследования различных неорганических, синтетических и биологических поверхностей и нанообъектов. В СЗМ исследование поверхности и её свойств происходит с помощью зонда закрепленного на конце кантилевера. При перемещении зонда вдоль образца, формируется сигнал, характеризующий его свойства. В качестве такого свойства выступает высота исследуемой поверхности относительно уровня подложки. Таким образом, в процессе сканирования формируется двумерный массив высот. При анализе этого массива данных можно получить информацию о количестве, форме и размерах элементов на поверхности образца. Качество анализа зависит от решения задачи определения границ с помощью методов сегментации. Наличие в данных различных помех значительно осложняет решение этой задачи.

При рассмотрении вопроса сегментации нормализованных изображений существующими методами следует учитывать их характерные особенности. Первой особенностью СЗМ-изображений является наличие неоднородного фона и объектов на различной высоте, что может быть обусловлено крупномасштабной неровностью поверхности исследуемого образца или несовершенством сканирующей системы. Это не позволяет применять для сегментации таких изображений метод порогового ограничения по высоте. Другие методы приводят к значительной ошибке. Для устранения наклона образца используются различные методы нормализации. Вторая особенность СЗМ-изображений заключается в том, что представленные на них объекты имеют неоднородную яркость и, как правило, не имеют четких границ. Применение при обработке таких изображений градиентных методов контурной сегментации приводит к появлению большого количества ложных контуров, не относящихся к границам объектов, в случае малой величины порогового ограничения, либо к большому количеству разрывов на границах объектов в случае больших значений порогового ограничения.

Поэтому этапу сегментации, как правило, предшествует этап предварительной фильтрации данных. С помощью фильтрации также можно устранить строчные выбросы, которые могут появиться из-за дрожания кантилевера или температурного дрейфа.

**Универсальная система хранения и обработки данных
практико-ориентированной направленности**

Рудикова Л. В.

Белорусский национальный технический университет

Развитие подходов к построению систем, связанных с накоплением данных в хранилище и последующим использованием алгоритмов Data Mining является особо перспективным в силу того, что белорусский сектор соответствующих ИТ-разработок находится на стадии формирования. Основная концепция предлагаемой универсальной системы для хранения и анализа данных практико-ориентированной направленности основана на технологии складирования данных. Разработка хранилища данных предполагается с учетом того, что в конечном итоге универсальная система будет предоставлять большой комплекс услуг соответствующим группам пользователей. Очевидно, что ресурсоемкость системы будет расти по мере того как система будет наполняться данными и обслуживать все большее количество пользователей. Немаловажную роль в плане определения концепции построения системы также играет необходимость осуществления аналитической обработки поступающих данных, поиска информации, хранение документов, а также предоставление программного интерфейса для доступа к функциональности системы извне.

При проектировании универсальной системы на уровне хранения и работы с данными основой является хранилище данных, построенное на основе схемы «созвездие фактов» и предназначенное для подготовки отчетов и бизнес-анализа с целью поддержки принятия решений по различным направлениям предметных областей. Данные, которые поступают в хранилище данных, доступны, в основном, только для чтения. Из OLTP-системы необходимая информация копируется в хранилище данных таким образом, чтобы итоговые построенные отчеты и OLAP-анализ не обращался к ресурсам транзакционной системы и, таким образом, не нарушал её стабильность. Предполагается, что данные загружаются в хранилище с периодичностью в неделю или декаду, поэтому актуальность данных может несколько отставать от OLTP-системы. Универсальная система на основе предлагаемой концепции позволит собирать достаточно обширные сведения по различным предметным областям, а также получать необходимые аналитические сводки, проводить обработку данных и применять соответствующие методы и алгоритмы Data Mining.

**О разработке информационно-аналитического портала
социально-экономических перемещений**

Рудикова Л. В., Лобатый А. А.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день все большее число практиков и научных исследователей используют большие данные для измерения различных аспектов человеческой деятельности, включая мобильность человека. Под данными об экономико-социальных перемещениях будем понимать количество людей, переехавших из одного географического региона в другой с учетом различных параметров, связанных с социальным, финансовым, экономическим, культурным и т. п. статусом людей. Исследование экономико-социальных перемещений людей позволит с высокой степенью достоверности выделить наиболее благоприятные географические объекты для людей в соответствии с определенными критериями их жизни и внутренними установками. Кроме того, возможно отслеживание общемировых тенденций как в плане экономико-социального развития, так и в плане благоприятности регионов для туризма в конкретные периоды времени.

Источники данных государственных учреждений, являясь общедоступными, не всегда легко поддаются обработке из-за отсутствия программного интерфейса и специфических форматов хранения. Такие ограничения, как правило, не позволяют легко использовать их при проведении анализа. Кроме возможностей анализа данных возникает также вопрос и отображения их в доступном виде, в частности, в виде различных графических визуализаций. На основе статистических данных о миграциях и анализа сопутствующих данных возможно создание прогностического аппарата, способного на основе сопутствующих данных предсказать, например, темпы миграции в тот или иной регион.

Таким образом, предлагаемая разработка использует данные об экономико-социальных перемещениях людей. Причем, основным источником демографических и миграционных данных выбран веб-ресурс Организации Объединенных Наций, который имеет огромное количество информации о миграционных показателях в различных странах мира. Данные можно получить в виде файла. Этот ресурс является основным источником данных для разрабатываемого приложения. Для изучения внутренней миграции в конкретных странах можно использовать национальных ресурсов, например, сайт европейской статистики Евростат или сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь.

¹Амро Р., ²Рыбак В. А., ²Рябычина О. П.

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусская государственная академия связи

С появлением Интернета во многих сферах жизнедеятельности человека произошли существенные изменения. Отрасли образования, торговли, оказания услуг, медицины, государственного управления и многие другие перешли на новый уровень функционирования. В этой связи в Белорусской государственной академии связи проводятся исследования по разработке летательного комплекса для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и поиска объектов, идентифицируемых в инфракрасном диапазоне.

Основой системы является миниатюрный компьютер класса Raspberry Pi или Arduino, снабжённый датчиками загрязнения атмосферного воздуха приоритетными поллютантами, ИК-датчиками и GPS-навигатором. Такая композиция устройств позволяет, например, в режиме реального времени производить облёт наиболее нагруженных перекрёстков с целью замера концентраций загрязняющих веществ и передачи данных для построения соответствующей карты. Это, в свою очередь, позволяет участникам движения выбирать оптимальный маршрут, что, например, для пешеходов означает путь с минимизацией неблагоприятного воздействия на здоровье, при прочих равных условиях. Для «сознательных» водителей информация о сильно загрязнённом воздухе на определённом участке дороги может служить сигналом к его объезду, чтобы не усугублять сложившуюся опасную ситуацию. Существующая на сегодняшний день сеть наблюдений за качеством атмосферного воздуха в крупных городах и промышленных центрах не позволяет в полной мере решать обозначенную задачу выбора оптимального пути вследствие отсутствия соответствующих объективных и своевременных карт.

С появлением компактных и доступных беспилотных летательных аппаратов – дронов / квадрокоптеров, стало возможным создание систем удалённого поиска и идентификации объектов в инфракрасном диапазоне. Актуальность данного направления обусловлена необходимостью, например, поиска людей в условиях тумана, дыма, в лесу, под снегом, когда видимый спектр не позволяет решить данную задачу. И хотя в настоящее время тепловизоры достаточно широко применяются, например, для оценки качества изоляции жилых домов, их использование в указанных направлениях достаточно затруднительно.

Старовойтов В. В.

Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси

Глядя на фотографию человек может субъективно оценить ее качество согласно некой упрощенной шкале (хорошо, плохо, удовлетворительно и т. п.). До настоящего времени подавляющее большинство количественных оценок качества цифровых изображений является средним арифметическим множества локальных оценок, вычисленных по некоторым алгоритмам. Фактически такая оценка – это параметр математического ожидания при нормальном распределении данных. Возникает вопрос: насколько хороша такая интегральная оценка качества изображения, выраженная одним числом?

В литературе существует два основных варианта вычисления оценок качества изображений: численное сравнение с эталонным изображением и вычисление оценки в отсутствие эталона. К первому относятся широко известные коэффициенты корреляции, мера SSIM, среднеквадратичное отклонение и т.п. Ко второму – вычисление энтропии, контраста изображения и другие. Такие оценки, как правило, положительны и не ограничены сверху.

Исследовались оценки первого типа, значения которых находятся в ограниченном диапазоне $[-1, +1]$ или $[0, +1]$. Показано, что, если при совпадении сравниваемых изображений оценка равна $+1$, следует говорить об оценке сходства изображений, а не об оценке качества. Если сравниваемое изображение немного отличается от эталонного, множество локальных оценок будет равно или чуть меньше единицы. Такое множество данных не является распределенным нормально и не корректно использовать математическое ожидание как интегральную оценку качества. Была выдвинута гипотеза: можно подобрать более подходящее статистическое распределение данных и описать множество локальных оценок параметром формы кривой этого распределения. Оказалось, что это возможно и наиболее гибкую форму среди других имеют распределения экстремальных значений.

Выполненные исследования подтвердили правомерность сформулированной гипотезы. Показано, что параметры распределения Вейбулла масштаб и форма могут служить количественными оценками сходства двух изображений точнее параметров нормального распределения (среднее и среднеквадратичное отклонение).

Применение информационных технологий при реализации управления положением опорных агрегатов автоматической системы подъема и горизонтирования платформы

Стрижнев А. Г., Шихов А. А.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью
«ОКБ ТСП»

На примере гидропривода рассмотрены вопросы реализации управления положением опорных агрегатов автоматической системы подъема и горизонтирования платформы с использованием современных информационных технологий. Для исследования гидропривода разработана экспериментальная схема и программно-аппаратный продукт, которые позволили выявить сильную зависимость коэффициента передачи от состояния опорного агрегата. Для снижения данной зависимости реализован принцип подчиненного регулирования с применением обратной связи по скорости, что позволило улучшить линейность регулировочной характеристики и уменьшить диапазон изменения коэффициента передачи в некоторых случаях более чем в 2 раза.

С использованием комбинированного метода (состоящего из авторского и классического методов) осуществлено снятие ЛАЧХ и ЛФЧХ. Полученные характеристики позволили провести идентификацию и определить параметры передаточной функции гидропривода в виде астатического объекта, содержащего колебательное, форсирующее и запаздывающее звенья. С учетом наличия в гидроприводе форсирующего звена применен численный метод придания одноконтурной замкнутой системе требуемых фильтрующих свойств и определена передаточная функция специального цифрового корректирующего устройства. Образованная система управления гидроприводом была проверена путем моделирования и экспериментально при отработке ступенчатых воздействий различной амплитуды. Соответствие разработанной модели реальному гидроприводу оценивалось коэффициентом достоверности Нэша-Сатклифа, который изменялся в пределах 67,35–99,21 % и является хорошим результатом.

Применение в процессе проектирования современных информационных технологий и программно-аппаратных продуктов, реализованных с их помощью, позволили значительно сократить время проектирования, получить необходимые экспериментальные данные, провести их обработку, синтезировать цифровое корректирующее устройство, провести сравнительный анализ работы модели и реального объекта.

Тернов Е. В.

Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси

Актуальным направлением совершенствования работы отрасли жилищно-коммунального хозяйства в последние 10–15 лет является снижение доли убыточных предприятий. В достижении указанной цели вполне очевидны и понятны такие направления, как оптимизация структуры и численности работников, повышение точности учета расхода коммунальных ресурсов, снижение потерь в тепловых и водопроводных сетях, совершенствование механизмов ценообразования в техническом обслуживании жилищного фонда. Также имеют существенное значение снятие с баланса предприятий непрофильных активов, выполнение исключительно связанных с основной производственной деятельностью видов работ. При этом финансовые вложения в техническую модернизацию предприятий не дают должной отдачи. Решение указанных проблем требует формализации и алгоритмизации бизнес-процессов предприятий ЖКХ в зависимости от их специализации, проведения математического моделирования и получения четких количественных оценок их хозяйственной и финансовой деятельности.

Независимо от вида выпускаемой продукции или оказываемых услуг предприятия является соответствие результатов оценки его деятельности критериям оценки противозатратного механизма функционирования. В частности, математическая связь факторов, определяющих эффективность работы предприятия, с количественными признаками противозатратных механизмов оплаты труда предложена В.Н. Бурковым, С.А. Баркаловым и А.П. Сычевым в рамках теории активных систем. Вместе с тем вопросы разработки программного обеспечения, позволяющего апробировать и внедрить в практику работы предприятий ЖКХ механизмы перевода их деятельности на безубыточную основу, остаются открытыми.

Изучение предложенной постановки задачи позволяет сделать заключение о возможности ее успешного практического воплощения в имитационной математической модели. В первом приближении такая модель может быть реализована и исследована средствами Microsoft Excel. В ходе изучения работы реальных предприятий могут быть созданы сценарии, типизирующие бизнес-процессы, информационные и финансовые потоки для различных областей отрасли ЖКХ. Реализацию и проверку указанных сценариев средствами имитационного моделирования целесообразно в дальнейшем выполнить в программной среде Any Logic.

Using of fast unmanaged code in C# language to accelerate the processing of images from unmanned aerial vehicle camera

Stepanov V. Y., Zuyonok A. V.
Belarusian National Technical University

It is known that different languages are based on completely different sets of basic concepts. Programming languages (like C#) use a term such as a managed context. This means that C# (more precisely CLR – Common Language Runtime) should work with fixed-size data types, because the code can be compiled by a JIT (Just-in-time) compiler under any of the supported target platforms (unless otherwise specified). There are a number of cases that govern the use of an unmanaged context, for example, in situations where the performance is critical (as in the case of processing images obtained from unmanned aerial cameras) where the standard GetPixel (...) method of the Bitmap class is proposed from the assembly System.Drawing (in System.Drawing.dll) to get the brightness of one pixel of the image.

The situation is complicated by the fact that the call of this method must be performed as many times as the number of pixels make our image. Taking into account the resolution of modern cameras, it is necessary to call the GetPixel (...) method more than one thousand times, which significantly reduces the overall system performance. In this case it is convenient to use a combination of managed code (for obtaining an image) and unmanaged code for organizing a quick access operation to an image through a pointers mechanism. This interaction is classified as an in-process and it is necessary to apply some operations that by default C# programmers are unavailable; since it is considered that the managed context is safer. For the interaction of managed with unmanaged code, in which unmanaged libraries are connected to the managed application, there is a Platform Invoke (p / Invoke) mechanism or in simple cases (for code) it is sufficient to use the unsafe keyword. For example:

```

Bitmap bSrc = (Bitmap)sourceImage.Clone();
BitmapData bmData = sourceImage.LockBits (new Rectangle (0, 0,
sourceImage.Width, sourceImage.Height), ImageLockMode.ReadWrite, Sys-
tem.Drawing.Imaging.PixelFormat.Format24bppRgb);
unsafe
{
    byte* r = (byte*)(void*)bmData.Scan0;
    byte* g = (byte*)(void*)bmData.Scan0; g++;
    byte* b = (byte*)(void*)bmData.Scan0; b += 2;
}

```


Modelling Discrete Time Integrator in MPPT for Photovoltaic System in Simulink Environment

Imad ELzein, Yury N. Petrenko
Belarusian National Technical University

Properly designed Maximum Power Point system brings the operation of the Photovoltaic System to the maximum efficiency. For implementing the Maximum Power Point Tracking (MPPT), there is a need to include the DC-DC converter into the system. The dc-dc converter can be either buck or boost converter. A boost converter is chosen where its duty cycle is controlled by.

PWM signal from controller implementing a tracking algorithm such as P&O and an integral regulator algorithm through the use of a Discrete Time Integrator that holds the last optimum MPP in the event if the whole system went down due to any malfunction. Further, whatever the weather (irradiation and temperature) and the load conditions, the control system of the converter will ensure the operating point is optimized for maximum power transfer.

The operating point of the PV on the I-V curve is dynamically modified by the controller so that the MPPT obtained the maximum power point at any sunlight conditions and maintain PV power in the neighbourhoods of this point to produce power with the higher efficiency.

The use of Discrete-Time Integrator block is to create a purely discrete model. With the Discrete-Time Integrator block, we can:

- Define initial conditions on the block dialog box or as input to the block,
- Define an input gain (K) value,
- Output the block state,
- Define upper and lower limits on the integral,
- Reset the state with an additional reset input.

With the first time step, block state $n = 0$, with either initial output $y(0) = IC$ or initial state $x(0) = IC$, depending on the Initial condition setting parameter value. For a given step $n > 0$ with simulation time $t(n)$, Simulink updates output $y(n)$ as follows through the use of the below method:

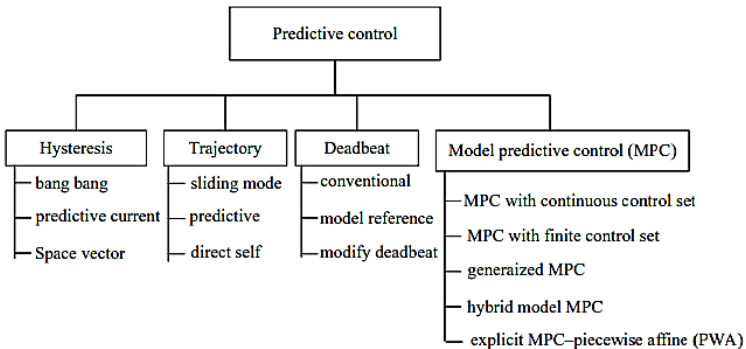
The block sample time determines when the output is computed and the values clip according to upper or lower limits and eventually the values are stored in a memory location where for instance if we are using an MPPT system the Discrete Time integrator can be implemented in the PV system to act on recording the last MPP value, save it in a special memory block and make that value available to use if a system crash occurred and during the recovery from an unexpected malfunction the last MPP can be restored and be available to restart with instead of initiating a new setpoint from an initial state.

A Classification of Model Predictive Control Based on Photovoltaic Stations

Imad Elzein

Belarusian National Technical University

Classical controllers have been developed by linear controller combine with modulation schemes such as voltage oriented control, and direct power control. There are some drawbacks of these methods follow as a mismatch of nonlinear system with linear control, limitation of analogue control, computational time of controller. However, modern techniques have been developed for power converter controlled such fuzzy, neural, adaptive and predictive control. The latter control appears an attractive alternative for the control power converter due to its fast dynamic response. The main characteristic of predictive control is to use the model of system for prediction of controlled variables and selects the most appropriate control set based on optimality criterion. The classification of model predictive control is shown in Figure.



Classification of predictive control

The different approach called Model predictive control (MPC) has capable of predicting future output signals based on future input signals and initial values. A model of the system is considered in order to predict the future behaviour of the variables over a time period.

The model predicts the future dynamic behaviour of the system over a prediction horizon T_p . At each control interval an MPC algorithm attempts to optimize future plant behaviour by predicting a control horizon T_c . Only the first step of the control strategy from cost function optimization is implemented, then the plant state is sampled again and the calculations are repeated starting from the now current state, yielding a new control and new predicted state path.

Features of Millimeter Wave Communication

Pei Ping

Belarusian National Technical University

The development of mobile communication networks accompanied by the rise of key technologies from 1G to LTE era. At the same time, the key technologies meet business needs and promote the network function continues to developing. Similarly, the development of 5G can not be separated from support of key technologies. This paper will introduce two kinds of 5G physical layer key technologies (Millimeter wave communication and Massive MIMO technology). Millimeter wave communication is a kind of microwave communication which length range of wave between 1~10 mm and radio frequency range between 30~300 GHz.

Table I has shown the characteristics of millimeter wave and microwave. The radio wave dissemination distance is a few kilometers when at 30GHz. But, if the radio frequency increase to 60GHz, dissemination distance only has 0.8 km. At the same time, millimeter wave is a very high frequency electromagnetic waves. Atmospheric absorption and rainfall decline has a great interference for millimeter wave propagation. Why the telecommunication organizations still researching millimeter wave communication technology all over the world, because of the characteristic which millimeter wave has a short wavelength and propagation stability is higher than decimeter microwave is suitable for dense base station layout.

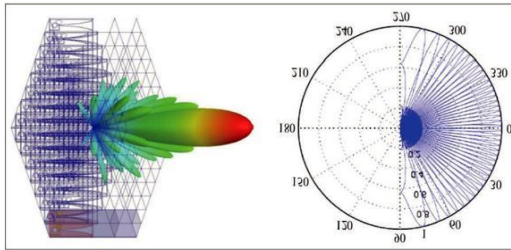
The problem from path loss is a common phenomenon in all of wireless communication systems, signals easily to be interference during propagation from adjacent wireless channel. The model of propagation from radio wave path loss could expressed, as in $P \text{ (dB)} = 32.44 + 20\ln d + 20\ln f$ (1), d in km and f in MHz. It can be found that the propagation path loss increasing as the radio wave frequency increasing. Currently, 5G millimeter wave technology still in phase of demonstrating and piloting time, the process of developing millimeter waves exist many problems should be considered, as follow: 1. Millimeter wave spectrum has greater pass loss in propagation to Compare with 300MHz-3GHz wireless mobile communication spectrum which used by LTE. However, according to another 5G new techniques which named beam-forming can concentrate energy in a small area to get a higher signal gain to solve the problem of path loss in propagation. 2. Signal loss from a building penetration. The ability of low-band wireless signals in penetration is more powerful to compare with high-frequency. This is the reason why wireless signal will have much energy loss when penetrating the building.

The Present Situation of Massive MIMO Technology Research

Pei Ping

Belarusian National Technical University

MIMO technology have four-dimensional space (time, frequency, code, and airspace) which greatly improve the data transfer rate. MIMO technology not only evolved from 2×2 MIMO to 8×8 MIMO but also from single-user MIMO to cooperative MIMO with processor chip's capacity enhancement. However, MIMO technology has been unable to meet the exponential growth of data for mobile broadband services and cloud computing. Therefore, the researchers proposed Massive MIMO technology. The advances in MIMO technology developing include three aspects: firstly, from passive to active; Secondly, from two-dimensional (2D) to three-dimensional (3D); the last is from MIMO to massive MIMO arrays. Massive MIMO provides more orientation capabilities and beam-forming capabilities. The direction of the antenna diagram shown in Figure. Multi- dimensional massive MIMO technology will markedly increase spectral efficiency and reduce transmitting power to realizing green energy saving.



Millimeter Wave Directed Graph of massive MIMO system

Massive MIMO antennas can be divided in two kinds of structure. First type of antennas is upgrading based on traditional antenna which include an array module, a reflection module and a lens module. The second type of antennas is based on a new concept design which has micro-strip module, polarization module and traveling wave module. In the future 5G mobile communication system, array module is focus on base station side deployment. The number of vibrators can reach a few hundreds in massive MIMO system. Hundreds of vibrators can be divided into multiple-antenna clusters. Each cluster as an independent array provides diversity gain to terminal devices. The massive MIMO antenna consists circular array form and linear array form. The circular array is constituting by 128 antenna ports which on a cylindrical carrier.

УДК 621.87; 681.5

**Синтез цифровых корректирующих устройств, обеспечивающих
требуемые фильтрующие свойства систем
автоматического управления**

Стрижнев А. Г., Шихов А. А.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью
«ОКБ ТСП»

Используя метод придания одноконтурной замкнутой системе автоматического управления САУ требуемых фильтрующих свойств, осуществлен синтез специальных цифровых корректирующих устройств ЦКУ с входным ограничителем скорости. В основу синтеза ЦКУ положено использование эталонных моделей фильтров низкой частоты ФНЧ (полученных с помощью передаточных функций элементарных звеньев), параметры которых согласованы с требуемой полосой пропускания САУ. На примере САУ, содержащей объект управления третьего порядка, с использованием эталонных ФНЧ в виде аperiodического звена третьего порядка и аperiodического и колебательного звеньев осуществлен синтез двух ЦКУ и определены параметры входного ограничителя скорости.

Составлены две схемы САУ с синтезированными ЦКУ, осуществлено имитационное моделирование и оценка качества их работы при отработке типовых входных воздействий (ступенчатых и синусоидальных фиксированной частотой) различной амплитуды. В результате сравнительного анализа установлено, что применение синтезированных ЦКУ с входным ограничителем скорости обеспечивает уменьшение фазового запаздывания и времени переходного процесса в 2,43–2,8 раза по сравнению с применением цифровых входных устройств на основе ФНЧ.

Таким образом, применение предложенного метода, реализованного с помощью современных информационных технологий, обеспечивает требуемую полосу пропускания и устойчивую работу САУ при воздействии высокочастотных сигналов, не ухудшая при этом отработку детерминированных (ступенчатых и синусоидальных) сигналов.

**Информационные
технологии
и автоматизация**

Применение технологии NFC при работе с медицинскими данными¹Здор Г. Н., ²Каршакевич Е. А.¹Белорусский национальный технический университет²УЗ «19-я поликлиника Первомайского района г. Минска»

Рассматривается работа с электронными медицинскими записями в контексте информатизации здравоохранения. На сегодня уже внедряются пластиковые карты для идентификации пациентов. Однако, эти карты еще не являются средством хранения медицинской информации и содержат только ID пациента в системе здравоохранения. Они не позволяют оперативно получать данные врачом, например скорой помощи, о конкретном пациенте.

Изучив достижения в использовании радиочастотных электромагнитных полей для хранения и передачи данных с целью автоматической идентификации объектов, можно предложить и другие способы идентификации пациентов. Популярность на рынке электронных технологий набирает бесконтактная технология NFC (Near field communication), которая позволяет хранить данные об объекте (пациенте) на специальной метке и обеспечить безопасную передачу данных от метки к считывателю. Считывателем, например, может быть мобильное устройство врача с поддержкой NFC и доступом к медицинской базе данных, а в качестве метки выступать мобильное устройство пациента с поддержкой NFC или NFC-метка в любом другом исполнении (наклейка, пластиковая карта, браслет и др.). В таком случае, с учетом ёмкости NFC-метки, можно записать ряд ключевых персональных данных о пациенте (ФИО, возраст, группу крови, коды хронических заболеваний по МКБ, аллергический статус и т.д.) и/или данные по авторизации и доступу к защищенной информации на медицинской облачной платформе, откуда можно получить полную информацию о пациенте (рисунок).



Схема обмена данными с применением NFC-меток

В докладе предлагаются технические и организационные решения для реализации этой технологии в системе здравоохранения.

Обеспечение безопасности промышленных роботов

Новичихин Р. В., Матрунчик Ю. Н., Журавлёва Е. Р.
Белорусский национальный технический университет

Одним из сдерживающих факторов широкого применения промышленных роботов (ПР) является их потенциальная опасность для персонала.

В докладе рассматриваются методические, организационные, технические, технологические, эргономические и медицинские аспекты обеспечения безопасности персонала, работающего с ПР. В частности анализируются материалы международных стандартов, разработанных для безопасного применения ПР и систем на их основе: ISO 10218-1: 2011; ISO 10218-2: 2011; ISO/TS 15066:2016. Последний стандарт разработан специально для нового класса роботов, так называемых, коллаборативных роботов (коботов). Они предназначены для совместной работы с человеком в одном рабочем пространстве и одновременно. Отличительной особенностью коботов от традиционных роботов является то, что они не требуют ограждений и дистанцирования от человека. Возможна совместная работа человека и кобота с одним предметом труда. Если того требует технологический процесс, то допускается и их физическое взаимодействие (соприкосновение, принуждение). В случае же несанкционированного контакта автоматически происходит практически мгновенная остановка манипулятора.

По современным представлениям говорить о «безопасном» ПР некорректно. Во-первых, речь может идти только о большем или меньшем уровне риска. Риски должны оцениваться заранее. Если они превосходят допустимый уровень, то регламентированы мероприятия по их снижению. Во-вторых, риски должны оцениваться не только применительно к собственно ПР, но и к приложению (технологическому процессу) в целом. Обязательно нужно оценивать опасность вспомогательного оборудования, манипулируемого инструмента и детали.

Оценка рисков предусматривает рассмотрение нескольких проявлений: серьезность (потенциальные последствия); вероятность избегания (уклонения); частота появления. Рассматриваемые стандарты регламентируют методику оценки рисков и приводят решения по их уменьшению для различных типов совместной работы.

В докладе приводятся результаты испытаний коллаборативного робота UR3 (Дания) на соответствие требованиям упомянутых стандартов. Исследования проводились на кафедре «Робототехнические системы».

Устройство для диагностики и реабилитации нервно-мышечной системы человека

¹Голубев В. С., ¹Хурс С. П., ²Лившиц Ю. Е.

¹Унитарное предприятие «ВРТЭК»

²Белорусский национальный технический университет

Электромышечная стимуляция (ЭМС) широко используется в медицине и спорте.

На основе принципа работы ЭМС создано устройство «Teslasuit». Оно представляет собой обтягивающую одежду – штаны и джемпер, с интегрированной электроникой для управления сигналами на электродах («умная одежда»). Electroды расположены с внутренней стороны «Teslasuit» таким образом, чтобы они могли воздействовать на основные группы мышц, отвечающие за движения. Благодаря техническим средствам и программному обеспечению, на каждую пару электродов можно подать различную серию импульсов заданной амплитуды (от 0 до 108 V, до 15 mA), частоты (до 5 кГц) и ширины импульса (до 110 мкс). Параметры задаются в зависимости от типа поражения (неврологические, спортивные травмы и т. д.) и степени осложнения, которые определяет лечащий врач-невролог.

Дальнейшее лечение требует постоянного наблюдения, контроля текущего состояния пациента и корректировки параметров ЭМС. Часто для этих целей применяют различные миоскопы, которые используют принцип электромиографии (ЭМГ). Фундаментальными исследованиями Р.С. Персон установлено, что ЭМГ здоровой мышцы представлена преимущественно низкочастотными колебаниями. При патологическом изменении состояния мышцы изменяется число функционирующих двигательных единиц и частота их импульсов, что создает характерную для этого состояния электромиограмму и, соответственно, ее спектр.

В работе предлагается усовершенствование устройства «Teslasuit», которое заключается во введении возможности измерения миограмм и измерения электрического сопротивления кожи, что позволяет автоматизировать калибровку сигналов ЭМС.

Встроенные 9-осевые датчики положения определяют фактическое движение конечностей в ответ на нервный импульс, что необходимо для осуществления процесса наблюдения и диагностики.

Электромиографические исследования позволяют не только установить характер заболевания, проводить его топическую диагностику, но и объективно контролировать эффективность лечения, прогнозировать время и этапы восстановления.

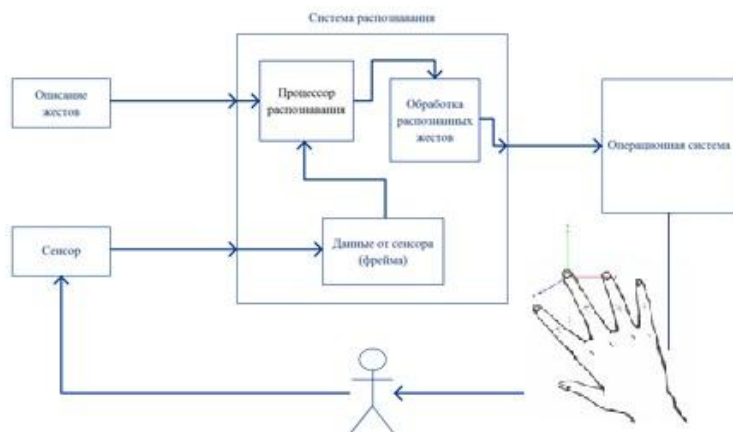
Разработка промышленного робота с бесконтактным управлением

¹Селения Г. С., ²Лившиц Ю. Е.

¹Унитарное научно-производственное предприятие «Квадро 7»

²Белорусский национальный технический университет

Целью работы являлась разработка бесконтактной системы управления промышленного робота на основе технического зрения. Бесконтактное управление – это управление при помощи нативных средств (жесты рук, движения головы и т. п.). При этом оператор не касается физических объектов, взаимодействуя только с рабочей зоной системы бесконтактного управления. Рабочей зоной является пересечение пространства светящихся и принимающих сенсоров (рисунок).



Структурная схема системы бесконтактного управления на основе технического зрения

В процессе разработки были решены следующие задачи: выбран метод системы распознавания объектов и платформы; обеспечен захват изображения и поиск объекта в кадре; обучена нейронная сеть для распознавания объектов; разработано оригинальное программное обеспечение высокого и низкого уровня.

За счет комбинирования алгоритмов детекторов Кэнни и Харриса, распознавание рук оператора происходит моментально и безошибочно.

Предложенные решения позволили обойтись недорогим сенсором (менее 200 BYN) для надежного распознавания объектов.

Автоматизация процесса механообработки на основе пятиосевых станков с ЧПУ

Сиротин Ф. Л., Околов А. Р.

Белорусский национальный технический университет

Фрезерные станки с ЧПУ позволяют обрабатывать детали различной формы с высокой точностью. Наиболее распространены 3-осевые и 4-осевые станки с ЧПУ. Однако, обработка деталей сложной формы на таких станках требует частого вмешательства оператора, так как за один установ деталь может быть обработана только с одной стороны, что существенно повышает время, необходимое на обработку одной детали полностью. Для обработки подобных деталей целесообразно использовать 5-осевые фрезерные станки с ЧПУ. Помимо плоскостей обработки X, Y, Z данные станки оснащены поворотным столом, способным вращаться вокруг своей оси на 360 градусом, и способным наклоняться по оси Y. Данная особенность позволяет обрабатывать деталь практически полностью за 1 установ, что значительно снижает затраты времени на обработку деталей в целом. К тому же, благодаря одновременной работе 5-ти осей, представляется возможным обработка деталей со сложным контуром, таких как винты, лопатки и т. п., что было невозможным на 3- и 4-осевых станках. 5-осевые станки хорошо подходят для автоматизации, так как требуют минимального вмешательства оператора. Эти станки можно использовать как в составе отдельного гибкого модуля, так и в составе ГПС.

Для автоматического определения нулей детали, а также для контроля производимых деталей в автоматическом режиме используется измерительные щупы Renishaw. Контактные измерения с помощью этого датчика позволяют отказаться от использования дорогостоящих зажимных приспособлений и выставления заготовки вручную с помощью индикаторов с круговой шкалой. Использование измерительных датчиков, установленных в шпиндель обрабатывающего центра или в револьверную головку токарного станка, даёт следующие преимущества: сокращение простоя станка; автоматизация крепления заготовки, её выравнивания и корректировки положения оси вращения; устранение ошибок, возникающих при ручной наладке; снижение количества брака; повышение производительности и гибкость при серийном производстве.

Применение данных решений в совокупности позволит полностью автоматизировать технологический процесс механообработки деталей, повысить производительность, точность и качество.

Быстрый алгоритм оптимизации вычислительных конвейеров

Прихожий А. А.

Белорусский национальный технический университет

Алгоритм с длинным критическим путем на графе вычислений [1] может быть распараллелен путем конвейеризации [2, 3] при условии, что на вход алгоритма подается поток данных. Части алгоритма назначаются на ступени конвейера. Через конвейер проталкивается поток данных, а каждая ступень работает со своим набором данных. Взаимодействие между ступенями может быть синхронным и асинхронным [4–6]. Синхронные конвейеры являются наиболее быстрыми, если в них одной ступени соответствует один цикл синхронизации [2]. Оптимизация таких конвейеров по критерию минимума используемых вычислительных ресурсов сводится к минимизации затрат на реализацию операций алгоритма и к минимизации затрат на реализацию конвейерных буферов при условии, что производительность конвейера не уменьшается. Решение этих задач различается для аппаратной и программной реализации конвейера. Оно достигается балансированием вычислительной нагрузки на ступени конвейера, а также путем равномерного разбиения критических путей по ступеням и поиска такого размещения переменных на границах ступеней, которое минимизирует суммарный размер буферов.

Унификация формального описания ячеек и ячеистых структур для их структурного синтеза в проектировании легковесных деталей

Полозков Ю. В., Кункевич Д. П.

Белорусский национальный технический университет

Унификация формального описания для структурного синтеза ячеистых элементов и структур является одной из наиболее важных задач в разработке средств автоматизации проектирования легковесных деталей. Математическое описание ячеистых элементов и структур следует выстраивать на основе подходов, применяющихся в теории конечных элементов, кристаллографии, теории фракталов. С учетом этого предлагается рассматривать *ячейку* в виде упорядоченного определенным образом множества узлов, взаимосвязанных между собой в соответствие с определенными правилами:

$$N = \{X, F(X) \rightarrow 0\},$$

где $X = \{x_i\}$ – множество узлов ячейки, x_i – *узел ячейки*, представляющий собой точку с координатами (x, y, z) , F – *правила*, определяющие связи между узлами.

Тогда может быть определена *элементарная ячейка* как ячейка, состоящая из двух узлов. В наиболее простом случае, при использовании правила, определяющего кратчайшее расстояние между этими узлами, такая ячейка будет представлять собой конечный элемент в виде отрезка. На практике эти ячейки могут использоваться для моделирования стержневых элементов и структур, построенных на их основе. Путем задания большего количества узлов, порядка их обхода и правил взаимосвязей, задающих поверхности первого, второго порядка, могут быть формализованы *базовые ячейки*. В случае применения правил, задающих различные поверхности для определения взаимосвязей узлов, составляющих одну ячейку, будет описана *комплексная ячейка*.

Совокупность ячеек образует *кластер*. Кластер ячеек рассматривается как самостоятельная единица, к которой могут быть применены различные операции клонирования, копирования, масштабирования и т.п. Совокупность кластеров ячеек образует *ячеистую структуру*. Основным отличительным свойством кластера от ячеистой структуры служит повторяемость. Ячеистые структуры могут классифицироваться как простые, комплексные, по одному, двум, трем направлениям: одноуровневые (многоуровневые), с равномерным (неравномерным) распределением, с масштабированием, со смещением, с поворотом, с уплотнением и т. п.

Модель мехатронной системы аддитивного производства изделий

Гурский Н. Н., Безручко А. Н.

Белорусский национальный технический университет

Широкое распространение аддитивной технологии создания отдельных деталей и законченных изделий из этих деталей предполагает разработку различных механизмов, способных решить поставленные задачи.

В работе рассматривается модель такого механизма, использующего кинематическую схему с вращающимся столом и рычагом, совершающим маховые движения.

Схема манипулятора представлена на рисунке. Данный манипулятор состоит из рычага длиной R_1 , и круглого стола с радиусом R_2 . Стол имеет вращательную степень свободы и может поворачиваться под действием электрического привода на заданный угол для доступа к точкам создаваемого на нем образа геометрического объекта. Рабочий орган располагается на рычаге, совершающем повороты в секторе с углом $\angle OA_r$, другим электрическим приводом. Таким образом, позиционирование рабочего органа всегда производится на дуге $A_r A_1$.

Исходными данными манипулятора являются: длина рычага R_1 и радиус стола R_2 . В докладе рассматриваются две задачи, описывающие работу данного манипулятора: прямая и обратная.

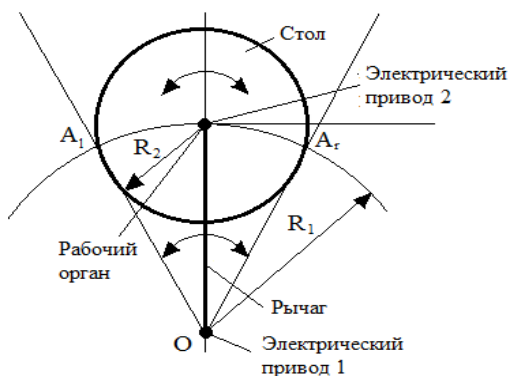


Схема манипулятора

Разоренов Н. А.

Белорусский национальный технический университет

Рациональное использование вычислительного ресурса – памяти – является важным вопросом для разработчика программ. В памяти помещается код и данные программы, причем их объем имеет тенденцию к увеличению, а для Win32 App доступно менее 2Гб виртуальной памяти.

В работе рассматриваются особенности использования виртуальной памяти многомодульной программой с динамическими библиотеками (dll). Динамические библиотеки могут проецироваться в пространство процесса тремя способами: неявно, явно и отложенным способом.

Для неявного подключения библиотеки нужны lib-файл и заголовочный файл из проекта dll, которые подключаются в ехе-проекте директивой **#pragma comment(lib, "MyDll.lib")** и директивой **#include "MyDll.h"**.

Операция явной загрузки dll выполняется с помощью функции **LoadLibrary (L"MyDll.lib")** во время работы программы.

В операционной системе Windows на языке программирования VC++ были разработаны тестовые приложения и программа для получения карты памяти процесса, использования памяти, списка dll [1]. Форматы файлов для библиотек dll такие же, как для 32-битной и 64-битной Windows ехе-файлов – Portable Executable (PE).

Исследование структуры файлов формата ехе и dll выполнялось с помощью dumpbin.exe.

Анализ полученных данных показывает, что многомодульное приложение с динамической (явной) загрузкой dll обладает рядом преимуществ: меньший размер ехе-файла, так как не требуется представление dll в таблице импорта; больший объем свободной виртуальной памяти, так как модули dll загружаются/выгружаются в/из памяти по мере необходимости.

Но в вопросах рационального использования памяти необходимо учитывать гранулярность регионов (64 Кб) и их размер, кратный размеру странице (4 Кб).

Двухэтапное сжатие текстовых данных

Куприянов А. Б.

Белорусский национальный технический университет

Словарный метод сжатия текстовой информации, предполагающий замену слова в тексте его номером в словаре, может обеспечить коэффициент сжатия, определяемый формулой

$$K_{сж} = \frac{L_{ср} \cdot k \cdot 8}{\text{ceil}(\log_2 V)}, \quad (1)$$

где $L_{ср}$ – средняя длина слова в исходном тексте; k – количество байт на символ в исходном тексте ($k = 1$ для ASCII кодировки и $k = 2$ для Unicode кодировки); V – объем словаря (количество слов в словаре).

Исследования нескольких десятков сайтов различной тематики показали, что объемы отдельных статей обычно не превышают 5 кБ, средняя длина слова $L_{ср} = 8$, а объем словаря $V = 2$ -3 тысячи слов. Следовательно, размер кода слова может составлять 11–12 бит, а коэффициент сжатия может достигать значения $5k$.

Для увеличения коэффициента сжатия предлагается использовать второй этап сжатия, заключающийся в создании словаря фраз и использовании в сжатом тексте номеров фраз из словаря. Повторяющиеся фразы из текста могут быть выделены алгоритмом LZW, в котором вместо символов используются 12 битовые коды слов, полученные на первом этапе сжатия.

При таком двухэтапном сжатии текста коэффициент сжатия можно оценить по формуле

$$K_{сж} = \frac{N_{исх} \cdot k \cdot 64}{12 \cdot N_{сж}}, \quad (2)$$

где $N_{исх}$ – количество слов в исходном тексте; $N_{сж}$ – количество 12-битовых кодов в сжатом тексте, определяемое формулой

$$N_{сж} = N_{исх} - M_2 - 2M_3 - \dots - (p-1) \cdot M_p \quad (3)$$

где M_i – количество комбинаций из i слов в исходном тексте.

Исследования сайтов в области компьютерной техники и программирования показали, что статьи размером до 500 слов могут содержать до 20 двухсловных фраз и до 10 трехсловных фраз. Следовательно, для таких статей возможно обеспечить коэффициент сжатия $K_{сж} = 11$. С увеличением размера статьи и количества статей в базе данных коэффициент сжатия будет увеличиваться за счет появления фраз с большим количеством слов и увеличения количества фраз в тексте.

Применение искусственных нейронных сетей в автоматизированных обучающих системах

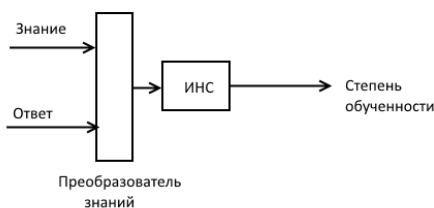
Попова Ю. Б., Яцынович С. В.

Белорусский национальный технический университет

С возрастанием количества факторов, которые могут быть учтены при тестировании знаний обучающихся, трудоемкостью реализации такого подхода, а также ориентацией дистанционного тестирования на массовую аудиторию, очевидна необходимость оптимизации данного процесса в обучающих системах.

Существующие решения предлагают использовать искусственную нейронную сеть (ИНС) только в процессе выставления оценки. Однако определение степени усвоения знаний по каждому предмету с помощью ИНС позволило бы унифицировать данный процесс без необходимости «подгона» алгоритмов для каждой базы знаний отдельно.

На рисунке показан пример использования ИНС для определения степени обученности. Определенное знание (тема, отдельный вопрос и т. д.), а также ответ обучающегося преобразовываются в понятный для искусственной нейронной сети набор данных. После пропуска этих значений через ИНС на выходе получается степень обученности тому или иному знанию. Обучение такой ИНС должно происходить с учителем, т. е. на наборе данных с весами (важностью знаний) и критериями, определяющими степень усвоения.



Общий вид определения степени обученности

Применение искусственных нейронных сетей в обучающих системах позволяет получить уникальный, унифицированный механизм для определения степени усвоения знаний. Обычное тестирование не позволяет определить, какую тему обучающийся усвоил хуже, и предложить необходимые разделы и темы для улучшения знания, т. е. адаптироваться под знания конкретного обучающегося.

Планировщик выполнения потоков на многоядерной системе

Карасик О. Н.

Белорусский национальный технический университет

Разработка многопоточных приложений, эффективно использующих весь потенциал многоядерной системы, должна учитывать возможность приложения масштабироваться к размеру аппаратной архитектуры (распределение потоков по ядрам процессора, использование NUMA и т. д.) [1] и возможность приложения осуществлять планирование выполнения потоков с учетом специфики решаемой задачи. Семейство операционных систем Windows, начиная с версии 7, предоставляет механизм User Mode Scheduling (UMS), позволяющий приложению реализовать собственный алгоритм планирования потоков. С использованием UMS в работе [4] разработан планировщик потоков, реализующий кооперативную модель выполнения многопоточного приложения. Кооперативная модель позволила разработать эффективные блочно-параллельные алгоритмы, значительно сократившие время решения прикладных задач [2, 3, 5, 6]. На нескольких архитектурах многоядерных систем проведены эксперименты по решению систем линейных алгебраических уравнений методом Гаусса и поиску кратчайших путей между всеми парами вершин графа, показавшие высокую эффективность планировщика и кооперативной модели.

Эксперименты по комплектации групп программистов

Ждановский А. М.

Белорусский национальный технический университет

Анализ данных о популярности языков программирования, полученных компанией RedMonk, и данных о рейтинге языков, полученных компанией IEEE Spectrum, привел к выбору основных технологий и инструментов с указанием их рейтинга и необходимости обязательного владения технологиями и инструментами группой разработчиков [1, 2]. На основе этих данных, проведен опрос программистов о степени владения этими инструментами и технологиями для оценки профессиональной квалификации каждого программиста и всей группы в зависимости от ее состава. Это, в свою очередь, является базой для оптимизации состава программистских групп эволюционным методом [3, 4]. Программисты должны распределяться по группам таким образом, чтобы каждая группа владела обязательным набором технологий, а владение технологиями было на максимально высоком уровне. Соответственно квалификация каждой группы должна быть максимально возможной и должна превышать минимальный порог. Целевую функцию определим как сумму квалификаций всех групп. На основе созданной модели был проведен ряд экспериментов с различными ограничениями от 0,4 до 0,8 на квалификацию групп по сравнению с максимально возможной. Оценена зависимость результата от ограничений. При минимально квалификации группы 0,5 удалось задействовать 23 человека из 24 и сформировать 8 групп с итоговой суммарной квалификацией равной 5,04.

Исследование динамики поля корневых траекторий на границе устойчивости

Несенчук А. А.

Белорусский национальный технический университет

Актуальным является вопрос изучения влияния параметрических возмущений, вызываемых различными неблагоприятными и часто непредвиденными факторами, на качество функционирования динамических объектов, что обуславливает необходимость более глубокого исследования динамических свойств систем управления объектами в условиях изменяющихся параметров и минимизации или устранения отрицательных последствий этого явления [1–2].

Рассматривается динамика характеристического полинома

$$s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3 = p(s), \quad a_j \in [\underline{a}_j, \bar{a}_j], \quad j = 1, \dots, 3, \quad (1)$$

описывающего динамическую систему, функционирующую в условиях параметрической неопределенности. Установлен характер пересечения границы устойчивости системы ветвями поля корневых траекторий ее корневого портрета (области пересечений D). На этой основе сформулировано условие устойчивости.

Условие устойчивости. Для асимптотической устойчивости интервальной динамической системы, описываемой семейством характеристических уравнений (1), необходимо и достаточно условие

$$\bar{a}_3 < a_{d_{\min}}, \quad (2)$$

где \bar{a}_3 – верхняя граница интервала изменения параметра a_3 ; $a_{d_{\min}}$ – минимальное значение параметра a_3 в области пересечений D [2]. Для параметрического синтеза достаточно вычислить значение $a_3 = a_{d_{\min}}$ и сравнить его с заданным значением \bar{a}_3 согласно условию (2). На основании этого метода определен алгоритм для параметрического синтеза интервальной системы (1). Полученные в работе результаты дают полное представление о том, каким образом следует манипулировать коэффициентами полинома (1) с целью обеспечения желаемых динамических свойств и могут быть успешно применены в САПР САУ.

Анализ алгоритмов планирования вычислительных процессов

¹Прихожий А. А., ²Соломенник Н. Ф.

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусская государственная академия связи

Вычислительный процесс является ключевым понятием, отражающим способ функционирования компьютерных систем на различных уровнях представления и реализации [1]. Современные вычислительные среды поддерживают одновременное функционирование многих процессов. Управление выполнением процессов и разделение между ними вычислительных ресурсов выполняется алгоритмами планирования [2]. Разнообразие алгоритмов планирования обусловлено особенностями организации функционирования и реализации вычислительных процессов и архитектур. Процессы могут реализовываться аппаратно, программно и смешанно. Они могут исполняться синхронно и асинхронно [3, 4]. Параллельное выполнение процессов может быть как в пространстве на одном наборе данных, так и во времени на потоке данных (конвейеры). Алгоритмы планирования легче оптимизируются при исполнении процессов на однородных вычислительных системах, и они усложняются при исполнении процессов на неоднородных вычислительных архитектурах. Построение алгоритма планирования сильно зависит от модели представления исходных вычислительных процессов и от модели представления результирующего вычислительного плана. В качестве исходной модели может использоваться программный код и разнообразные размеченные графы. Модель вычислительного плана может быть синхронной и асинхронной. Каждая из них может быть конвейеризированной и не конвейеризированной. Планы оптимизируются по двум основным критериям: минимуму времени исполнения и минимуму потребляемых ресурсов.

УДК 62-5

Моделирование криволинейного движения мобильного наземного объекта

Гурский Н. Н., Нажжарин М.

Белорусский национальный технический университет

Приведен алгоритм изменения угловых скоростей задних ведущих колес мобильного наземного объекта, обеспечивающий программное управление поступательным движением данного объекта по заданной криволинейной траектории. Рассматривается силовая схема объекта с тяговыми электрическими двигателями. Представлена имитационная модель колесной машины, реализующая заданные скоростные и поступательные свойства движения.

Для моделирования и исследования динамических процессов, сопровождающих движение мобильной машины с тяговыми электрическими двигателями разработана имитационная Simulink-модель. Электропривод ведущих колес моделируется двумя асинхронными электрическими двигателями с короткозамкнутыми роторами. Для изменения скоростей вращения электрических двигателей используется замкнутая схема регулирования с блоком векторного управления, входами которого являются желаемая скорость и текущая скорость электродвигателя, зависящая от колесных нагрузок.

Изложенный алгоритм, его программная модель, а также приведенная имитационная модель колесной машины, позволяют провести детальные виртуальные испытания как мобильной машины в целом, так и отдельных ее элементов с целью улучшения динамических качеств мобильных машин с тяговыми электрическими приводами переменного тока.

DLL для работы с BMP файлами

Разоренов Н. А.

Белорусский национальный технический университет

В работе рассматриваются вопрос расширения Win32 API динамической библиотекой (dll) для операций с структурными элементами файлов формата bmp. Динамические библиотеки могут проецироваться в пространство процесса тремя способами: неявно, явно и отложенным способом. Операция явной загрузки dll выполняется с помощью функции LoadLibrary (L"BMP.lib") во время работы программы.

В операционной системе Windows на языке программирования VC++ были разработаны Dll и тестовые приложения для получения карты памяти графического файла, его структуры, расшифровки его структурных элементов и визуализации раstra. Форматы файлов для библиотек dll такие же, как для 32-битной и 64-битной Windows exe-файлов – Portable Executable (PE).

Исследование структуры файлов формата bmp выполнялось с помощью разработанной библиотеки BMP.dll. На рисунке приведен дамп картинки с палитрой на 16 элементов.

```

00000000: 42 4D F6 00 00 00 00 00 | 00 00 76 00 00 00 28 00
00000010: 00 00 10 00 00 00 10 00 | 00 00 01 00 04 00 00 00
00000020: 00 00 80 00 00 00 C4 0E | 00 00 C4 0E 00 00 00 00
00000030: 00 00 00 00 00 00 00 00 | 00 00 00 00 80 00 00 80
00000040: 00 00 00 80 80 00 80 00 | 00 00 80 00 80 00 80 80
00000050: 00 00 80 80 80 00 C0 C0 | C0 00 00 00 FF 00 00 FF
00000060: 00 00 00 FF FF 00 FF 00 | 00 00 FF 00 FF 00 FF FF
00000070: 00 00 FF FF FF 00 FF FF | FF FF FF FF FF FF FF FF
00000080: FF FF FF FF FF FF FF FF | FF FF FF FF FF FF FF FF
00000090: FF FF FF FF FF FF AA AA | AA AA AA AA AA AA FF FF
000000A0: FF FF FF FF FF FF FF FF | FF FF FF FF FF FF CC CC
000000B0: CC CC CC CC CC CC FF FF | FF FF FF FF FF FF FF FF
000000C0: FF FF FF FF FF FF 99 99 | 99 99 99 99 99 99 FF FF
000000D0: FF FF FF FF FF FF FF FF | FF FF FF FF FF FF FF FF
000000E0: FF FF FF FF FF FF FF FF | FF FF FF FF FF FF FF FF
000000F0: FF FF FF FF FF FF FF FF

```

Дамп файла картинка 16 на16

Анализ полученных данных показывает, что многомодульное приложение с динамической (явной) загрузкой dll обладает рядом преимуществ: меньший размер exe-файла, так как не требуется представление dll в таблице импорта; больший объем свободной виртуальной памяти, так как модули dll загружаются/выгружаются в/из памяти по мере необходимости. Функционал dll расширяет API и возможность обработки bmp файлов.

Веб-сервис для определения плагиата в LMS CATS

Попова Ю. Б.

Белорусский национальный технический университет

Для проверки документов на плагиат в сети Интернет существует несколько программных продуктов. Однако не все обучающиеся размещают свои работы во всемирной сети и часто передают их младшим курсам. Поэтому в учебных заведениях существует проблема плагиата работ с прежних лет. Одним из решений указанной проблемы является использование автоматизированных систем управления обучением (англ., Learning Management System, LMS). Обучающиеся закладывают свои лабораторные, контрольные и курсовые работы в такие системы, образуя архивы прошлых лет, и преподавателю не составляет труда проверить работы на плагиат. Ключевым моментом здесь является возможность LMS делать такие проверки. Автором предлагается веб-сервис, который может быть интегрирован в любую LMS, для поиска заимствованных работ и составления отчетов с указанием процентов схожести с аналогами. Он реализует модифицированный алгоритм векторной модели текстового документа, заключающийся в формировании отдельного N -списка для каждого анализируемого документа. Вследствие чего будет происходить попарное сравнение документов и формирование образа одного документа относительно N -списка другого. Таким образом, в i -й строку матрицы схожести будут записываться коэффициенты схожести рассматриваемых документов относительно i -го документа. Предлагаемая модификация позволяет ускорить процесс вычислений, поскольку нет необходимости искать общие термины для всех документов. Следует отметить, что в ходе учебного процесса преподаватель сталкивается с большим количеством работ студентов, которые необходимо проверять одновременно, например, контрольные или курсовые работы целого потока обучающихся. Поэтому выполнять такие проверки для каждой работы отдельно – это очень затратный процесс как по времени выполнения, так и по вычислительным ресурсам. Для решения данной проблемы предлагается использовать кластерный анализ текстовой информации, основная цель которого – разбить множество объектов на группы таким образом, чтобы объекты внутри одной группы были максимально похожи друг на друга, но в то же время максимально отличались от объектов другой группы. Алгоритм кластерного анализа текстовой информации реализован и интегрирован в LMS CATS (Care About The Students), разработанную и используемую на кафедре программного обеспечения вычислительной техники БНТУ.

Использование кооперативных игровых моделей в принятии управленческих решений

Борисова И. М.

Белорусский национальный технический университет

Принятие решений усложняется, если результат, который получает некоторое лицо, зависит не только от принимаемого им решения, но и от решений, которые принимают другие лица.

Все эти разнообразные конфликтные ситуации допускают общие формализованные описания и анализ с помощью математических методов.

Кооперативные игры получаются в тех случаях, когда, в игре, в которой участвуют n игроков, разрешается образовывать определённые коалиции. Обозначим через N множество всех игроков, а через K – любое его подмножество. Пусть игроки из K договариваются между собой о совместных действиях и, таким образом, образуют одну коалицию. Для исследования этих игр необходимо учитывать все возможные коалиции. Образовав коалицию, множество игроков K действует как один игрок против остальных игроков, и выигрыш этой коалиции зависит от стратегий, применяемых каждым из n игроков. Функция v , ставящая в соответствие каждой коалиции K наибольший получаемый ею выигрыш $v(K)$, называется характеристической функцией игры. Эта функция обладает следующими свойствами:

- 1) персональностью: коалиция, не содержащая ни одного игрока, ничего не выигрывает;
- 2) супераддитивностью: общий выигрыш коалиции не меньше суммарного выигрыша всех участников коалиции;
- 3) дополнительностью: для бескоалиционной игры с постоянной суммой сумма выигрышей коалиции и остальных игроков должна равняться общей сумме выигрышей всех игроков.

Одними из наиболее интересных способов решения коалиционных игр являются решения с применением вектора Шепли.

Программным способом с помощью вектора Шепли найдены решения для трех предприятий, каждое из которых нуждается в проводке теплоцентрали. Предприятия могут провести теплоцентрали отдельно друг от друга, а могут объединиться в группы – коалиции.

Оценены затраты, которые могут иметь предприятия в случае: если все они прокладывают централь самостоятельно, если 1-е и 2-е предприятие объединяются, если 1-е и 3-е объединяются, если 2-е и 3-е объединяются, или если объединиться все три предприятия.

Анализ стратегий управления процессом добычи руды конвейерными линиями горного рудника

Гец А. К., Крук Ю. С., Остапук М. И.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрено компьютерное моделирование процесса стабилизации качества руды, поступающей с горизонтов на обогатительную фабрику. Целью исследования является нахождение оптимального режима функционирования добычного комплекса с точки зрения минимизации расхождения планового и получаемого качества руды.

Одним из этапов компьютерного моделирования, направленного на решение поставленной задачи стабилизации качества руды, а также для решения задачи прогнозирования объемов добычи руды калийным рудником, является разработка приложения в *Oracle Apex*.

Вторым этапом моделирования является разработка программного средства на языке программирования *Python* для выбора оптимальной стратегии управления. В основу программы положены результаты математического моделирования, проведенного в [1], в рамках которой указанная задача решалась при помощи алгоритма направленного случайного поиска с самообучением.

По результатам моделирования можно спрогнозировать объем добываемой руды для заданного моделируемого промежутка времени, а также принять решение о выборе оптимальной стратегии управления, минимизирующей расхождение планового и средневзвешенного качества руды. Следует отметить, что возникает актуальная проблема выбора оптимального решения с практической точки зрения. В реальности из четырех кварталов рабочего времени забоев (смен в течение суток) три являются последовательными периодами непосредственной работы забоя, а четвертая смена является нерабочей (ремонтной). В дальнейших исследованиях запланировано решение указанной проблемы и выработка поиска оптимальной стратегии управления, отвечающей не только условиям математической модели, но и ограничениям с практической точки зрения.

**Стационарное функционирование сети Геленбе
с неактивными заявками**¹Крук Ю. С., ²Летунович Ю. Е.¹Белорусский национальный технический университет⁽²Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

Сети с неактивными заявками привлекают все большее внимание исследователей в области теории сетей массового обслуживания [1, 2, 3]. Рассматривается открытая сеть с множеством узлов $J = \{1, \dots, N\}$. Все заявки в сети, подразделяются на обыкновенные (активные), которые могут получать обслуживание, и неактивные. В узлы сети извне поступают независимые пуассоновские потоки положительных и отрицательных заявок с интенсивностями λ_i^+ и λ_i^- соответственно. Положительные заявки встают в очередь и ожидают обслуживания. Поступившая в i -й узел отрицательная заявка не требует обслуживания и уменьшает длину очереди активных заявок на единицу. В случае отсутствия в узле активных заявок, отрицательная заявка покидает сеть. В узлы сети поступают независимые простейшие потоки информационных сигналов с интенсивностями v_i и ϕ_i . Сигнал, поступивший в i -й узел с интенсивностью v_i уменьшает количество активных заявок на единицу и увеличивает на единицу количество неактивных. Информационный сигнал, поступивший в i -й узел с интенсивностью ϕ_i , уменьшает количество неактивных заявок на единицу и увеличивает на единицу количество активных. Состояние сети в момент времени t характеризуется вектором $z(t) = (z_1(t); z_2(t); \dots; z_N(t))$, где $z_i(t) = (n_i(t); n'_i(t))$ – состояние i -го узла в момент времени t . Здесь $n_i(t)$ и $n'_i(t)$ – число активных и соответственно неактивных заявок в i -м узле в момент времени t , $n_i(t) + n'_i(t)$ – общее число заявок в i -м узле. Для описанной модели сети решена система уравнений трафика и найдено стационарное распределение вероятностей состояний в мультипликативной форме.

Выбор параметров демпферной обмотки синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением при скалярном частотном управлении

Фираго Б. И., Александровский С. В.

Белорусский национальный технический университет

В синхронных двигателях с электромагнитным возбуждением в роторе располагается демпферная обмотка, которая выполняет две задачи: 1) демпфирование колебаний скорости при изменении нагрузки на валу двигателя и 2) асинхронный пуск синхронного двигателя. При скалярном частотном регулировании скорости такого двигателя необходимости в асинхронном пуске нет, и возникает необходимость выбора параметров демпферной обмотки СД исходя из условий первой задачи.

При исследовании переходных процессов в частотно-регулируемом синхронном ЭП с линеаризованной механической характеристикой получена математическая модель, включающая дифференциальное уравнение второго порядка для угловой скорости синхронного двигателя. Математическая модель имеет две постоянные времени: 1) электромеханическую постоянную времени T_M , обусловленную действием демпферной обмотки; 2) постоянную времени τ , обусловленную взаимодействием асинхронного момента, создаваемого демпферной обмоткой, и синхронного электромагнитного момента, вызываемого магнитной жесткостью. В теории электропривода известно, что переходная характеристика разомкнутой системы второго порядка имеет перерегулирование по скорости $\sigma = 4,3\%$ если постоянные времени связаны соотношением $T_1/T_2 = 2$, что соответствует показателям при настройке регулятора скорости на технический оптимум. Приняв это соотношение и для нашего синхронного частотно-регулируемого электропривода $\tau = 2T_M$, можно найти модуль жесткости механической характеристики, создаваемой действием демпферной обмотки:

$$\beta = \sqrt{2bJ}.$$

Обычно, для конкретного класса механизмов, например, механизмов передвижения мостовых и козловых кранов пределы изменения суммарного момента инерции электропривода J , приведенного к валу электродвигателя, известны. Для конкретного синхронного двигателя магнитная жесткость b также может быть однозначно определена.

На основании расчетной величины модуля жесткости β можно, используя методику проектирования электрических машин, рассчитать параметры демпферной обмотки, в первую очередь величину эквивалентного приведенного активного сопротивления R_2' .

Обзор систем тяговых электроприводов электромобилей

Улащик Н. М.

Белорусский национальный технический университет

К настоящему времени рациональный путь решения эколого-экономических проблем традиционных автомобилей определен – это создание автотранспортных средств (АТС) с применением тягового электропривода (ТЭП), технологий управления приводными электродвигателями транспортных средств, которые могут самостоятельно или совместно приводить в движение автотранспорт.

Основным фактором, сдерживающим широкомасштабное внедрение АТС с ТЭП, является высокая стоимость самого ТЭП, обусловленная в основном его дорогостоящими источниками/накопителями энергии с ограниченной энергоемкостью и мощностью. Поэтому повышение эксплуатационных свойств ТЭП, в том числе и энергетической эффективности, является важной и актуальной научно-технической проблемой, которую необходимо решить для создания конкурентно-способных электромобилей и гибридных автомобилей.

В настоящее время на АТС ТЭП переменного тока фактически вытеснили ТЭП постоянного тока. Это обусловлено достижениями в области силовой электроники и микропроцессорной техники, которые позволяют создавать высококачественные бесконтактные ТЭП на основе трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АД) и синхронного двигателя с возбуждением от высокоэффективных редкоземельных постоянных магнитов (СДПМ).

Системы электропривода с СДПМ находят в настоящее время все более широкое применение. Это связано с постоянным удешевлением магнитных материалов, а также ускоряющимся развитием аппаратной базы систем управления и устройств силовой электроники. На АТС применены два типа СДПМ – с неявнополюсным и явнополюсным ротором, причем последний в последнее время получает широкое применение благодаря более высоким значениям момента и КПД из-за целенаправленного комбинирования активной и реактивной составляющих момента. Однако СДПМ с неявнополюсным ротором отличается простотой изготовления. Системы с СДПМ имеют большую стоимость, чем системы на базе АД.

Преимущества АД заключаются в простоте конструкции, высокой надежности, приемлемой стоимости, развитой технологии производства, малых затратах на обслуживание. ТЭП на базе АД характеризуется наилучшим соотношением цена/качество.

Влияние паразитных сопротивлений на работу повышающего бестрансформаторного преобразователя постоянного напряжения

Миронович А. В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из важнейших требований, предъявляемых сегодня к пассажирским перевозкам на железнодорожном транспорте, является комфорт. Основным же критерием комфортности можно считать температуру воздуха в вагоне. В летнее время при высокой температуре окружающего воздуха для получения прохлады в вагоне используют систему кондиционирования, которая включает в себя электрический компрессор, и сложную систему циркуляции хладагента. Особенностью системы кондиционирования вагона является автономность источника электропитания. В связи с ограничением на рабочее напряжение аккумуляторной батареи (140 В) в электрической части системы требуется повышающий преобразователь постоянного напряжения, поскольку для питания системы «автономный инвертор – асинхронный двигатель» необходимо постоянное напряжение величиной хотя бы 300 В.

Подобный преобразователь достаточно подробно рассматривался в предыдущих публикациях автора. Была проведена идентификация повышающего преобразователя как объекта управления и его имитационное моделирование. Однако, во всех предыдущих работах автора рассматривалась работа преобразователя на активную нагрузку (омическое сопротивление, предполагая, что все элементы силовой цепи (транзистор, диод, конденсатор, индуктивность) являются абсолютно идеальными. В реальности же имеются паразитные сопротивления, которые оказывают влияние на работу преобразователя, особенности при необходимости получения больших статических коэффициентов усиления преобразователя (выше двух).

Поэтому в рамках данной работы с помощью системы компьютерной математики Matlab была смоделирована система, включающая в себя идеальный источник напряжения и повышающий преобразователь постоянного напряжения с дополнительными омическими сопротивлениями, включёнными последовательно с основными элементами силовой цепи. В результате моделирования было установлено, что для обеспечения требуемого коэффициента повышения напряжения (около 3,2) существует критическое значение скважности – 87 %, при условии, что суммарное паразитное сопротивление не превышает 2 % от сопротивления нагрузки. Если относительное же сопротивление превышает 2 %, то получить требуемую степень повышения невозможно.

Расчет регуляторов многоконтурных систем электроприводов

Опейко О. Ф.

Белорусский национальный технический университет

Расчет параметров регуляторов многоконтурной системы управления электропривода обычно выполняется методом последовательной оптимизации контуров (подчиненного регулирования) [1]. Передаточная функция регулятора каждого контура должна компенсировать инерционность объекта. Это возможно, если начинать расчет от внутренних контуров (для электропривода это контуры тока), а уравнения и параметры объекта управления известны. Метод подчиненного регулирования дает значительные преимущества по сравнению с другими методами синтеза управления, поскольку позволяет обеспечить качество управления не только системы в целом, но и подсистем.

Однако метод подчиненного регулирования основан на достоверном знании уравнений и параметров объекта, и эффективен, если в каждом из контуров компенсируется одна инерционность объекта. Кроме того, для импульсных и цифровых систем не известен дискретный вариант метода подчиненного регулирования.

Для цифрового управления объектами со структурной и параметрической неопределенностью актуальна разработка методов, основанных на разделении движения на быструю и медленную составляющие [2]. Синтез начинается с внешнего контура управления медленной составляющей. Далее формируются требования к управлению во внутренних контурах так, чтобы динамика каждого из внутренних контуров имела характер быстрой составляющей по отношению к внешнему контуру.

Метод разделения движений имеет три основных преимущества. Допускает применение в процессе синтеза редуцированных моделей объекта с параметрами, заданными на интервале. Применяется как для непрерывного, так и для цифрового управления. Позволяет на основании требований к системе в целом определить требования к подсистемам и выбору комплектующих.

**Применение синхронного двигателя с постоянными магнитами
в электроприводе как инновация**

Цыбульский П. С.

Белорусский национальный технический университет

Применение синхронных двигателей с постоянными магнитами в современном электроприводе является инновацией, которая призвана повысить эксплуатационные показатели автоматизированного электро-привода за счет преимущества СДПМ по сравнению с асинхронными двигателями аналогичной мощности, такими как: более высокий пусковой момент; более высокий КПД; меньшие массогабаритные параметры [1].

В условиях ориентации промышленности на энергосберегающие технологии все большее внимание уделяется энергоэффективным электроприводам. Одним из таких электроприводов является электро-привод на основе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ).

Синхронные двигатели с постоянными магнитами – это наиболее перспективные электрические машины в диапазоне малых и средних мощностей (особенно для моментных систем электропривода). Двигатели такого типа конструктивно просты и надёжны. Они имеют абсолютно жёсткие механические характеристики и не требуют затрат на возбуждение, обладают большой перегрузочной способностью и высоким быстродействием в переходных процессах. Однако они имеют ряд недостатков. К ним можно отнести: чувствительность конструкции двигателей к высоким температурам постоянных магнитов, необходимость информации о положении ротора для работы в системах с высокими требованиями по точности и качеству переходных процессов, наличие магнитного поля (даже после выключения) и более высокая цена.

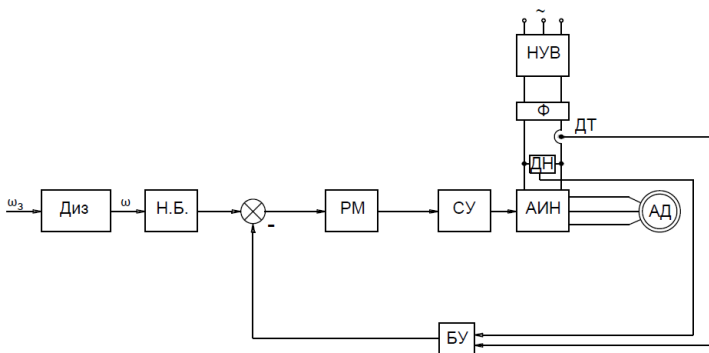
Электропривод на основе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) является перспективным для электроустановок с автономным питанием при повышенных требованиях по надёжности и качеству регулирования скорости, в том числе для привода различных современных робототехнических систем и комплексов и мобильных машин.

Система управления тяговым электроприводом трактора

Жарко Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

Система управления тяговым электроприводом трактора должна обеспечивать стабилизацию мощности в точке работы дизеля с оптимальным к.п.д. Для этого можно применить систему стабилизации мощности. Принцип работы данной системы заключается в использовании обратной связи по мощности, которая и обеспечивает стабилизацию мощности. Блок-схема данной системы имеет вид [1]:



Система автоматического управления трактора

На рисунке: Диз – дизель; Н.Б. – нелинейный блок; РМ – регулятор мощности; СУ – систему управления; НУВ – неуправляемый выпрямитель; Ф – фильтр; АИН – инвертор напряжения; ДТ, ДН – датчик тока и напряжения; АД – асинхронный двигатель; БУ – блок умножения.

Скорость с датчика дизеля поступает на нелинейный блок. Построение характеристики нелинейного блока основано на кривых зависимости удельного расхода топлива от мощности дизеля. На выходе нелинейного блока формируется задание мощности. Обратная связь по электрической мощности вычисляется через произведение напряжения и тока звена постоянного тока. Задание мощности вместе с обратной связью по мощности формируют рассогласование по мощности, которое подается на регулятор мощности. С выхода регулятора сигнал управления подается на ключи инвертора.

Автоматизации грузоподъемных кранов

Васильев С. В.

Белорусский национальный технический университет

Большое внимание в последние годы уделяется автоматизации грузоподъемных кранов. «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» требуют применения приборов и устройств безопасности, не допускающих перегрузки механизмов крана, потери устойчивости крана при невнимательности, неоперативности крановщика и обеспечивающих электробезопасность обслуживающего персонала.

В настоящее время имеется большое количество ограничителей нагрузки кранов по конструктивным решениям и их видам. Основной характеристикой кранов является грузовая, представляемая зависимостью между вылетом и нагрузкой. Ограничитель включает в себя датчик фактической нагрузки и датчик изменения вылета, по сигналу которых определяется допустимая нагрузка. Это датчики угла наклона стрелы и длины стрелы. Для повышенной точности контроля нагрузки и вылета в некоторых типах ограничителей используются конструкционные датчики угла, а также датчик угла наклона платформы стрелового самоходного крана.

Сигналы указанных датчиков поступают в блок обработки данных, где сравниваются с данными о характеристиках отключения, выдаваемыми из запоминающего устройства. Результаты обработки выводятся на блок индикации, а при превышении фактической нагрузки относительно допустимой – на блок средств отключения. Все универсальные ограничители имеют блок выбора характеристик отключения и устройство согласования характеристик отключения.

Стреловые самоходные краны последних моделей имеют бортовые электронные системы, состоящие из микропроцессора, пульта управления и датчиков, установленных на крановой установке. Системы контроля и диагностики управляющих систем крана обеспечивают машиниста всеми необходимыми данными для правильной эксплуатации крана, а также предупреждают о возможных неисправностях и способах их устранения. Безопасное ведение работ кранами обеспечивается автоматически работающими средствами защиты. К ним относятся: конечные выключо-чаты и различные ограничители; креномеры и анеометры; устройства, сигнализирующие о приближении к ЛЭП и предотвращающие столкновение стрел работающих рядом кранов между собой или с окружающими кран конструкциями; устройства, предотвращающие падение груза и обеспечивающие его опускание в аварийных ситуациях.

Синтез регуляторов тока микропроцессорной системы управления тягового электропривода

Нго Фьонг Ле, Гульков Г. И.

Белорусский национальный технический университет

Для синтеза регуляторов тока построена дискретная модель синхронного двигателя с постоянными магнитами в z -области:

$$zi(z) = \Phi i(z) + Hu(z) + \omega S_\delta,$$

$$\text{где } \Phi = \begin{bmatrix} 1 - \frac{R}{L_d} T & T\omega \frac{L_q}{L_d} \\ -T\omega \frac{L_d}{L_q} & 1 - \frac{R}{L_q} T \end{bmatrix}; H = \begin{bmatrix} \frac{T}{L_d} & 0 \\ 0 & \frac{T}{L_q} \end{bmatrix}; S_\delta = \begin{bmatrix} 0 \\ -T \frac{\Psi_M}{L_q} \end{bmatrix}; i = \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}; u = \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix}.$$

Регулятор с конечным временем регулирования с желаемой передаточной функции (РСКВР1), в которой регулируемая координата достигает заданного значения за требуемое число интервалов дискретности n , имеет матрицу передаточных функций:

$$R_1(z) = \frac{E_2 - z^{-1}\Phi}{1 - z^{-2}} \text{ при } n = 1, \quad R_3(z) = \frac{1}{3} \frac{(1 + z^{-1} + z^{-2})(E_2 - z^{-1}\Phi)}{1 - \frac{1}{3}(z^{-2} + z^{-3} + z^{-4})} \text{ при } n = 3,$$

где E_2 – единичная матрица размера 2×2 .

Регулятор с конечным временем регулирования с прогнозированием тока (РСКВР2) имеет матрицу передаточных функций:

$$R_{\text{РСКВР2}}(z) = z\Phi.$$

Проведено имитационное моделирование системы автоматического управления, в результате которого получены переходные характеристики контура регулирования (рис. 1 и 2). Установлено, что наилучшей является РСКВР2 (см. рис. 2).

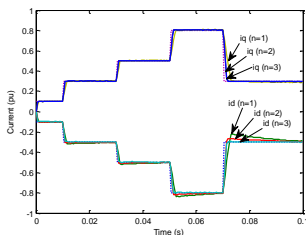


Рис. 1. РСКВР1

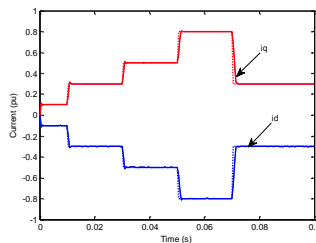


Рис. 2. РСКВР2

Особенности построения конечно-элементной ячеистой конструкции

¹Воронко В. Ю., ²Напрасников В. В.

¹Амкодор, г. Минск

²Белорусский национальный технический университет

При создании протеза тазобедренного сустава необходимо учитывать два критерия: с одной стороны напряжения, возникающие в материале конструкции протеза при максимальных нагрузках не должны превышать допустимые для материала, из которого изготовлена конструкция, а с другой стороны она должна быть максимально легкой и дешевой.

Для того, чтобы удовлетворить этим противоречивым требованиям, требуется уже на этапе проектирования иметь возможность выполнения вариантных или оптимизационных расчетов. Основой для этого будет параметризованная конечно-элементная модель тазобедренного сустава, особенностью которой является использование ячеистого заполнителя для снижения массы изделия.

На рис. 1 представлена созданная геометрическая модель сустава.

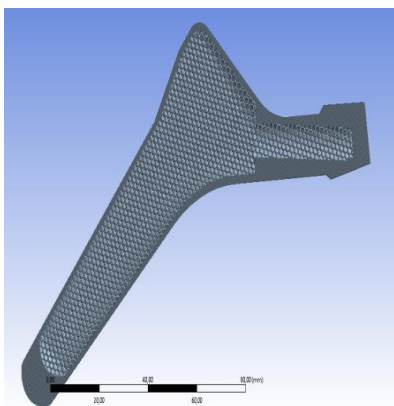


Рис. 1. Модель сустава

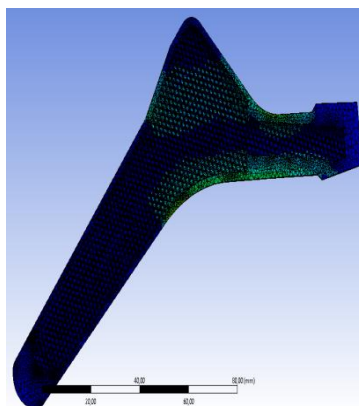


Рис. 2. Напряжения в конструкции

На рис. 2 представлено напряженно-деформированное состояние при эксплуатационных нагрузках.

На основе построенной модели были выполнены оптимизационные расчеты, которые позволили существенно снизить массу конструкции, по сравнению с исходным вариантом.

Моделирование конструкции рабочего оборудования фронтального погрузчика

¹Демещенко А. А., ²Напрасников В. В.

¹Амкодор, г. Минск

²Белорусский национальный технический университет

Фронтальный погрузчик – универсальная самоходная спецтехника, разновидность ковшового погрузчика, предназначенная для захвата, погрузки и транспортировки различных материалов, а также для выполнения карьерных и землеройных работ.

Основным рабочим оборудованием погрузчика является ковш, закрепленный на конце подъёмной стрелы. Поворот рабочего органа относительно стрелы осуществляется с помощью гидроцилиндров поворота, тяг и коромысел.

С помощью CAD/CAM/CAE-системы (ранее «Unigraphics») было смоделировано рабочее оборудование погрузчика и с использованием программного пакета ANSYS был проведен анализ напряженно-деформированного состояния конструкции (рис. 1, 2).

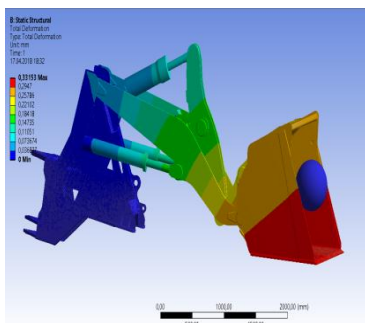


Рис. 1. Суммарные перемещения

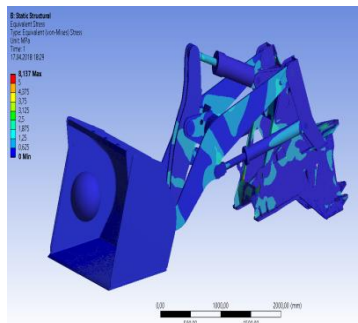


Рис. 2. Напряжения по Мизесу

По результатам анализа видно, что максимальное суммарное перемещение составило 0,33 мм и максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу равно 8,14 МПа при силе действующей на ковш равной 1000 Н (в направлении оси Oz).

Исходя из этого, можно сделать вывод, что данная конструкция рабочего оборудования является работоспособной, так как максимальное напряжение не превышает 250 МПа (предел текучести материала).

Особенности алгоритмов сдвиговой аппроксимации изображений

Кочеров А. Л., Кочерова В. А., Боровок О. А.
Белорусский национальный технический университет

Задача сдвиговой аппроксимации изображений может быть сформулирована в следующей постановке.

Задано распределение интенсивности $K(x, y)$ светового потока, (x, y) – декартовы координаты в картинной плоскости. Это распределение будем также называть *желаемым*.

Требуется представить (*приближенно*) распределение интенсивности $K(x, y)$ в виде линейной суммы сдвигов двумерных гауссовых функций:

$$K(x, y) \approx \sum_{k=0}^S A_k \cdot F(x - \lambda_k, y - \mu_k, \sigma),$$

где A_k – амплитуда двумерной гауссовой функции (амплитуда парциального пучка); $F(x, y, \sigma)$ – двумерная гауссова функция с параметром σ ; λ_k – сдвиг вдоль оси OX ; μ_k – сдвиг вдоль оси OY ; $S+1$ – количество парциальных пучков, используемых для приближения желаемого распределения интенсивности.

Алгоритм решения сформулированной задачи проиллюстрирована схемой, представленной на рисунке.



Схема решения задачи аппроксимации

В докладе обсуждаются особенности формирования набора параметров, обеспечивающих аппроксимацию изображения с требуемым уровнем качества, а также некоторые особенности программной реализации алгоритмов вычисления амплитуд и построения синтезированного изображения; приводятся примеры синтезированных изображений; даны результаты анализа эффективности предлагаемого способа аппроксимации изображений в сравнении с известными.

Системный подход в вопросах Информационно-аналитической деятельности

Ивановский А. В., Кочеров А. Л.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Информационно-аналитическая деятельность (ИАД), как правило, организуется с целью извлечения и применения новых знаний, пригодных для использования в цикле управления. Для достижения этой цели в ряде случаев целесообразно использовать системный подход, реализация которого неизбежно приводит к вопросу построения системной модели ИАД.

Простейшей системной моделью ИАД может считаться модель «черного ящика», представленная на рисунке. В роли входов в ней выступают цель проведения ИАД, требования, которым должна удовлетворять эта деятельность и необходимые ресурсы для её осуществления. Выход представляет собой обработанную информацию, которая обеспечивает принятие управленческого решения с требуемым качеством.



Модель ИАД в виде «черного ящика»

При необходимости модель «черного ящика» может быть дополнена моделями состава, связей и структурной схемой ИАД. Особенностью упомянутых системных моделей ИАД является то, что они могут выполняться с различной степенью детализации и полноты, определяемой целью исследования. Так, например, простейшая модель состава ИАД включает в себя три укрупненных этапа (три элемента) – накопление необходимого объема информации об исследуемом явлении, анализ и обработка этой информации, представление результатов анализа в виде, удобном для принятия управленческого решения.

Декомпозиция каждого из этих этапов, как правило, проводится с целью детального исследования ИАД, например, для оптимизации этой деятельности, и может приводить к модели состава из 30 и более элементов. Ясно, что отмеченная особенность в полной мере относится к моделям связей и структурным схемам.

В докладе обсуждаются и другие особенности процесса моделирования при проведении ИАД, приводятся примеры построения системных моделей ИАД.

Проектирование и создание кроссплатформенной логистической информационной системы

Олехник Н. С.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Одним из направлений развития современного общества является трансформация бизнес-процессов посредством информационно-коммуникативных технологий. В этом отношении сфера грузоперевозок не является исключением – существующие системы глобального позиционирования (ГЛОНАСС и GPS) потенциально позволяют существенно повысить эффективность управления в логистической компании.

Однако, создание полнофункциональной информационной системы управления подобной компанией является, как правило, не простой задачей. Это обусловлено известной противоречивостью требований к данной информационной системе.

Так она должна учитывать: модульный принцип построения системы (это обеспечит экономию ресурсов при развитии ее функциональных возможностей); возможность использования разнородных систем глобального позиционирования; интеграции с бухгалтерскими и учетными системами; поддержка единой базы данных клиентов, поставщиков и партнеров; обеспечение их доступа к системе с разграничением прав и ряд других требований.

Учет этих требований и сложившейся практики создания подобных информационных систем обусловил реализацию кроссплатформенной информационной системы управления в виде веб-ресурса с интеграцией мобильного приложения и базой данных, позволяющего, с одной стороны, регистрировать, выбирать, производить поиск машин, а с другой – предоставлять полный функционал по управлению личными данными и выработке необходимых решений.

В реализованной системе информационная инфраструктура компании представлена несколькими иерархическими уровнями, каждый из которых характеризуется различной степенью агрегированности информации и своей специфической ролью в процессе управления: ведение клиентской базы; генерация маршрутов; учет движения товаров; ведение статистики деятельности и справочной информации; генерация отчетной документации.

В докладе обсуждаются вопросы проектирования и создания кроссплатформенной логистической информационной системы, приведены сведения о поэтапной реализации обсуждаемого решения, демонстрируются результаты работы системы на примере конкретной транспортной компании.

Особенности создания системы электронных услуг в сфере государственной регистрации и земельного кадастра

Рыжов А. С.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Информационные технологии в государственном управлении – это ключевая тенденция распространения информационных технологий в массах и внедрения идей информационного общества. «Электронное правительство» существенно увеличивает эффективность работы государственного аппарата, ощутимо повышает производительность труда в государственном управлении.

Выделяя важность развития информационно-коммуникационных технологий, в РУП «Брестское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» (далее – Агентство) реализуется взаимодействие организации с физическими и юридическими лицами путем предоставления полной информации о новостях Агентства, услугах, административных процедурах, выполняемых в РУП «Брестское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру», имеется возможность получить информацию о филиалах Агентства, отправить электронное обращение руководству предприятия и его структурных подразделений в Брестской области.

На сайте предприятия существует возможность оценить качество предоставляемых услуг в Агентстве или филиалах, внести свои предложения по улучшению качества обслуживания, а также можно произвести предварительную запись на нужную пользователю услугу. В случае предварительной записи клиент имеет возможность отправить документы, подписанные личной электронной цифровой подписью. В таком случае клиент имеет возможность получить все необходимые услуги в указанные клиентом день и время буквально за одно посещение нашего Агентства. В Агентстве и структурных подразделениях реализована возможность оплаты услуг посредством ЕРИП-онлайн, что позволяет клиенту оплатить услугу с помощью Интернет-банкинга или SMS-банкинга, не выходя из окна приема, а сотруднику Агентства – увидеть статус оплаты до явки клиента с чеком, давая возможность перейти к выполнению заказа непременно сразу же после осуществления оплаты.

В докладе рассмотрены особенности процесса взаимодействия предприятия с клиентами, вопросы взаимодействия между структурными подразделениями и филиалами при формировании заказов на справки о находящемся в собственности гражданина недвижимом имуществе по Брестской области.

Использование множественной корреляции при прогнозировании векторных многомерных объектов

Герман О. В., Герман Ю. О.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Коэффициент множественной корреляции предполагается устойчивой вероятностной характеристикой для совокупности объектов. Например, пусть имеется таблица Tbl метеорологических наблюдений за некоторый период, связывающая среднюю суточную температуру (t), влажность (h), скорость ветра (v) и облачность (c) с выпадением осадков в виде дождя (r). Т. о. $r = F(t, h, v, c)$. Используя Tbl , можно вычислить множественный коэффициент корреляции как

$$R^2 = K^T \cdot R_{xx}^{-1} \cdot K, \quad (1)$$

где K – вектор коэффициентов парной корреляции ($cf_{t,r}, cf_{h,r}, cf_{v,r}, cf_{c,r}$) (T – символ операции транспонирования). Коэффициент корреляции $cf_{x,y}$ между входной переменной x и выходной переменной y отыскивается по формуле

$$cf_{x,y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

наконец, R_{xx}^{-1} представляет обратную матрицу матрицы коэффициентов корреляции между параметрами t, h, v, c .

Пусть входной вектор наблюдений (t^*, h^*, v^*, c^*). Нужно построить прогноз относительно осадков в виде дождя. Прогноз можно дать, включив в Tbl строку $t^*, h^*, v^*, c^*, r^*, r^*$ является неизвестной величиной. Расширенную таблицу Tbl обозначим как Tbl^* . В силу устойчивости коэффициента множественной корреляции для совокупности наблюдений Tbl , будем считать, что множественные коэффициенты корреляции для таблиц Tbl и Tbl^* совпадают. Это позволяет найти неизвестное значение переменной r^* , что позволяет сделать прогноз. Упростить расчет можно следующим образом. Полагая, что $[0,1] \ni r$, рассчитаем значение множественного коэффициента корреляции на Tbl^* для значений $r = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0$. Для каждого из этих значений получим соответствующее отклонение Δ_i от коэффициента R . Для определения итогового значения найдем средневзвешенное r_- как

$$r_- = \frac{\sum \Delta_i \cdot r_i}{\sum \Delta_i}. \quad (3)$$

Разработка программы оценки и выбора объектов недвижимости

Белоградская Е. В., Герман Ю. О.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Важность и актуальность информационных систем недвижимости невозможно недооценить, так как большинство людей стали постоянными пользователями всемирной паутины.

Информационные системы недвижимости универсальны, с точки зрения пользовательского опыта, предназначены для поиска пользователем актуальных предложений на рынке недвижимости по продаже, покупке, аренде объектов недвижимости.

Современные подходы к операциям с недвижимостью требуют технических инноваций. Нет системы, которая помогала бы оценить и выбрать подходящий объект в соответствии с заданными критериями, опираясь на ту или иную систему принятия решений.

Рассматривается разработка программы оценки и выбора объектов недвижимости по методу Т. Саати. Целью программы является выбор оптимального объекта недвижимости для покупки из предполагаемых альтернатив на основе заданных критериев пользователя.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать веб-приложение;
- собрать данные об объектах на рынке недвижимости;
- разработать базу данных для приложения;
- разработать программный модуль для расчета оценки и выбора объектов недвижимости.

Для реализации данного проекта требуется собрать данные об объектах на рынке недвижимости. В разработанную базу данных для этой цели необходимо включить фильтры поиска в окне интерфейса для выбора предпочтительных альтернатив объектов недвижимости, разместить в окне интерфейса критерии оптимального объекта недвижимости.

Для расчета по методу Т. Саати нужно выбрать в окне интерфейса предпочтительные альтернативы объектов недвижимости с помощью фильтров поиска и критерии оптимального объекта.

Расчет оптимального объекта недвижимости для покупки произойдет в автоматизированном режиме.

Использование данного программного решения предполагает выбор покупки оптимального объекта недвижимости, не прибегая к помощи специалистов данной сферы.

Использование типовых решений при разработке фреймворка для тестирования

Мишота А.А., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Современное состояние процесса разработки программного обеспечения (ПО) характеризуется значительным сокращением времени отдельных циклов разработки. В этих условиях автоматизация тестирования становится все более значимой задачей. Применение типовых решений при разработке фреймворков для тестирования позволяет в дальнейшем сократить время тестирования ПО.

Разработанный фреймворк для тестирования использует типовые элементы, которые видны пользователю: кнопки, формы, таблицы, дропдауны т. д. Типизация элементов выполняется на основании общепринятого представления, существующего в данный момент для конкретного элемента.

Например, для типового элемента «кнопка» – это представление о том, что такое кнопка и что она должна уметь, вне зависимости от конкретного интерфейса.

Главное – это та функциональность кнопки, по которой ее нельзя спутать с другим элементом, например, с таблицей или дропдауном.

Использование разработанного фреймворка исключает необходимость описания при тестировании нового ПО таких низкоуровневых действий, как поиск в таблице, проверка набора полей или выбор в меню. Все эти действия уже учтены во фреймворке. Элементы делают только то, что соответствует их функциональности, т. е. то, что от них ожидают.

Например, на кнопку можно нажать, но текст на ней написать нельзя. Для тестирования нового ПО дополнительно нужно описывать только те действия, которые связаны с конкретным бизнесом, заказчиком. Например, рассмотрим действие «купить продукт».

Типовые элементы не знают, что такое «купить продукт», и это нужно описывать для конкретных объектов.

Работа с простыми типовыми элементами (кнопками, текстом) позволяет сделать тесты более наглядными. А работа со сложными элементами (дропдаунами, таблицами, чек-листами) – дает возможность сократить количество кода, который нужно написать тестировщику.

Необходимая информация об элементах (локаторах) расположена в одном месте, и такой код проще поддерживать. Во фреймворке также реализовано логирование, что еще больше упрощает поддержку тестов.

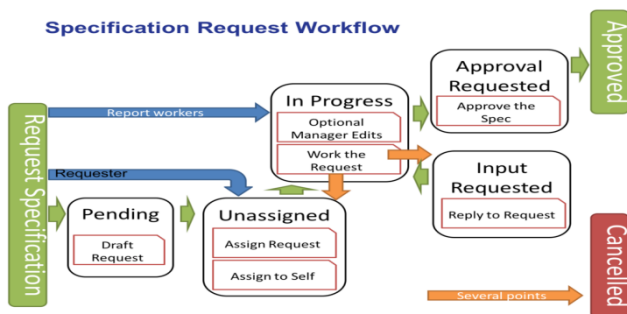
Информационные ресурсы коллективного доступа в сфере образования

Шорин Р. И., Ковалева И. Л.

Белорусский национальный технический университет

К настоящему времени в образовательном пространстве накоплены колоссальные объемы данных, используя которые можно решать самые разнообразные проблемы в любой сфере деятельности. При таком количестве и непрерывном росте данных встает задача об обеспечении качества этих данных, которая играет важную роль в процессе превращения данных в полезную информацию, такую как научные работы, статьи и доклады. Для решения данной задачи разработанный информационный ресурс коллективного доступа предоставляет настраиваемый механизм документооборота с возможностями коллективного обсуждения и одобрения данных, таким образом устраняя наличие некачественной информации и знаний.

Основными элементами разработанного механизма являются фазы, обозначающие текущий статус данных, шаги, которые необходимо выполнить для обеспечения качества данных и условия, которым данные должны соответствовать для перехода в следующую фазу.



Пример схемы пользовательского документооборота

Тестирование механизма документооборота информационного ресурса коллективного доступа показало высокую эффективность разработки в обеспечении качества и скорости обработки различных данных за счет возможности пользовательской настройки рабочего процесса под любые виды и типы данных образовательного пространства.

УДК 621.391.25

Моделирование сложных трехмерных поверхностей с использованием фрактального метода

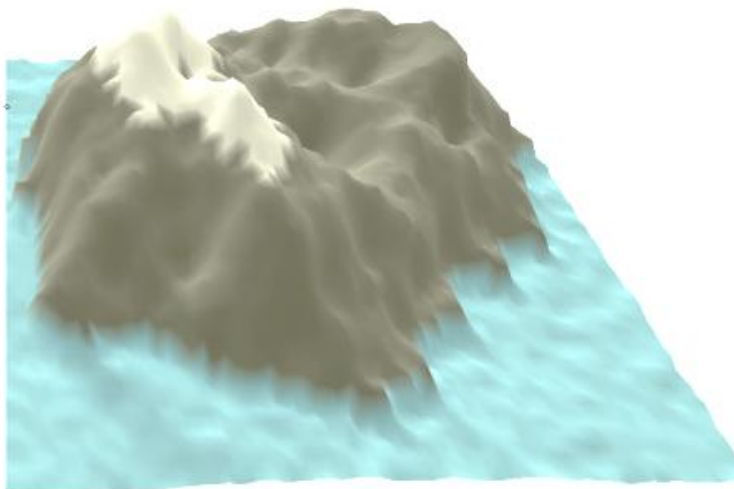
Носкова Л. А.

Белорусский национальный технический университет

Для того чтобы получить полигональную фрактальную поверхность, исходный многоугольник рекурсивно разбивается на фрагменты.

Создание фрактальных поверхностей реализует алгоритм Diamond-Square. Алгоритм состоит из двух шагов. Первый – шаг «square» – определяет центральную точку в квадрате путем усреднения угловых и добавлением случайного отклонения. Второй же шаг – «diamond» – призван определить высоту точек, лежащих на серединах сторон (ромбе). Шаги повторяются, пока не будет получена достаточно детализированная поверхность.

Было реализовано рассеянное и диффузное освещение. Рассеянный свет – свет, который не имеет явного источника и равномерно заливает объект. Диффузный свет имеет явный источник и освещает объект ярче там, где угол падения равен нулю (перпендикулярное падение на поверхность) и освещает меньше при любых других углах. Закраска полигонов осуществляется методом Гуро (рисунок).



Моделирование гор и воды

Оптимизация сопоставления дескрипторов лиц

Бородуля А. В., Добродей С. Г.

Белорусский национальный технический университет

Распознавание человеческого лица является важной задачей в человеко-машинном взаимодействии. Для решения этой проблемы разработано большое количество различных методов и алгоритмов. На текущем витке развития технологий, особенно широкое распространение нашли решения с применением сверточных нейронных сетей, которые извлекают ключевые признаки лица из изображения. Результат работы нейронной сети – набор вещественных чисел, который называется дескриптором изображения.

Для определения степени похожести лиц выполняется операция сопоставления дескрипторов. Дескриптор лица интерпретируется как многомерный вектор в пространстве признаков лица, а в качестве операции сопоставления используется вычисление векторного расстояния между дескриптором обнаруженного лица и предварительно сохраненными дескрипторами других лиц.

Наивный подход заключается в реализации простого алгоритма последовательного прохода (рисунок) по набору предварительно рассчитанных дескрипторов faceDB и нахождения расстояния до вектора descriptor (дескриптор обнаруженного лица).

```

for i := range faceDB {
    distance := float32(0)
    for j := range faceDB[i] {
        for k := range descriptor {
            distance += (descriptor[k] - faceDB[i][j]) * (descriptor[k] - faceDB[i][j])
        }
    }
}

```

Пример реализации алгоритма на языке Golang

Недостатком такого подхода является неэффективность вычислений, что сказывается на длительности выполнения операции поиска «близких» дескрипторов. Значительное ускорение выполнения операции поиска удалось достичь в ходе применения следующих оптимизаций: распараллеливание вычислительного процесса на многопроцессорной вычислительной системе и использование инструкций процессора, позволяющих потоковую обработку данных SIMD (англ. Single Instruction, Multiple Data).

Распределенная система сравнения дескрипторов лиц на базе ApacheIgnite

Добродей С. Г., Бородуля А. В.

Белорусский национальный технический университет

Для решения задачи распознавания человеческого лица широко применяются сверточные нейронные сети. В результате работы сети из поданного на обработку изображения извлекаются численные характеристики по ключевым признакам, выделенным при обучении нейронной сети. Набор таких вещественных чисел называют дескриптор лица.

В последствии, для решения задачи поиска похожих лиц выполняется операция сопоставления дескриптора входного изображения и дескрипторов из набора предварительно рассчитанных дескрипторов. Сложной задачей является создание системы, где большое количество дескрипторов лиц могут храниться и над ними за приемлимое время может выполняться операция поиска. Например, в случае когда дескриптор лица содержит 1024 характеристики, в памяти компьютера он занимает 4 килобайта (1024 float32 элемента), в случае с метрополитеном г.Москва (по данным 2011 года пассажиропоток 6.5 млн человек) база дескрипторов лиц пассажиров за месяц может занимать $6\,500\,000 \cdot 4 \cdot 30 / 1024 / 1024 = 743.87$ Гб. При хранении базы такого размера на жестком диске возникает проблема скорости доступа: при скорости последовательного чтения 90 Мбайт/с полный поиск всех похожих лиц в базе займет не менее 2 часа 20 минут.

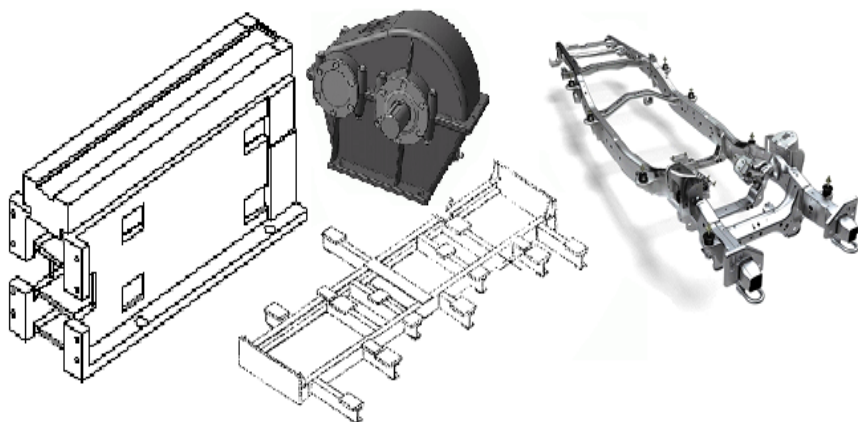
Apache Ignite – распределенная платформы, оптимизированная для работы с оперативной памятью, объединяет в себе хранилище вида ключ-значение с SQL99-совместимой базой данных, предлагая полную ACID-совместимость, высокую доступность, а также близкое к линейному масштабирование с нескольких узлов до тысяч. Хранение дескрипторов лиц в распределенной системе управления данными, расположенными в оперативной памяти, позволяет производить сопоставление дескрипторов с высокой скорости доступа к данным, тем самым значительно ускоряя время выполнения операции поиска. Поскольку платформа ApacheIgnite поддерживает горизонтальное масштабирование, то расширение системы сопоставления дескрипторов лиц на большие объемы обрабатываемых данных становится экономически более выгодным, по сравнению с системами хранения и управления данными, позволяющими только вертикальное масштабирование.

Автоматизированное проектирование несущей системы технического объекта

Барышев А. А.

Белорусский национальный технический университет

Несущая система (НС) – элемент технической системы (ТС), обеспечивающий заданное взаимное расположение ее элементов и установку в системе верхнего уровня (рисунок).



Примеры несущих систем

Для реализации первой функции в НС должны быть вспомогательные базы – поверхности, на которые устанавливаются функциональные элементы ТС. Для второй функции в НС должны быть базы основные.

Исходная информация для проектирования - информация о привалочных гранях элементов – их основных базах плоской формы. Они проектируются на единую плоскость – привалочную плоскость корпуса. По этим проекциям формируются вспомогательные базы НС – привалочные пластики. Последние могут объединяться единой плитой, подставкой из стандартного проката, рамно-балочной системой и т. п.

Изложенный подход обеспечивает проектирование плоских несущих систем и является эффективным средством при проектировании различного рода вспомогательных устройств – приспособлений, испытательных стендов, ступеней и т. п. Пространственная несущая система может быть сформирована как комбинация плоских.

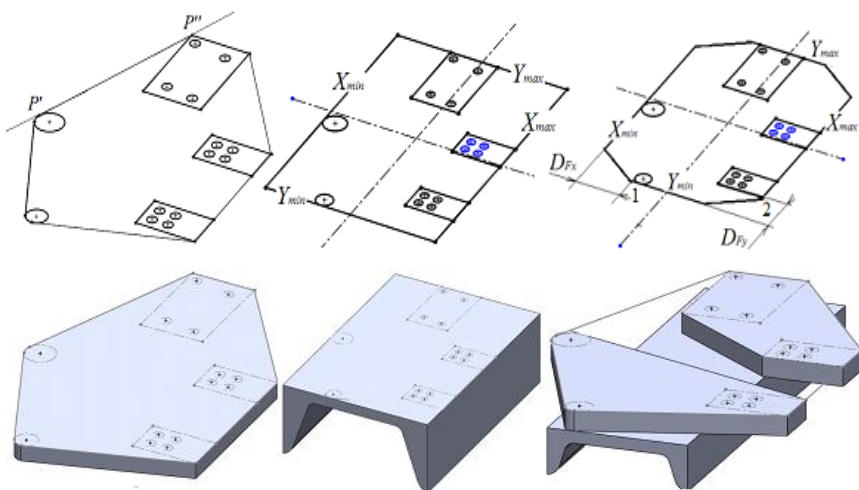
Процедура синтеза корпусной плиты

Войтович М. В., Кункевич Д. П.

Белорусский национальный технический университет

Корпусная плита – одно из популярных решений при проектировании несущих систем различных вспомогательных устройств, таких, как технологические приспособления, например. В системе геометрического моделирования соответствующая утилита была бы весьма полезна.

Контур плиты – замкнутый, плоский, выпуклый, охватывает множество проекций функциональных элементов на плоскость корпуса. Из множества точек этих проекций следует выбрать пары (P' , P''), такие, что все остальные лежали бы только по одну сторону проходящей через них прямой. Эти точки – вершины контура, который далее комбинируется с различного рода объемными элементами, в том числе и со стандартным прокатом (рисунок). По технологическим соображениям, его можно упростить, задав ограничения на количество сторон и симметрию. Декомпозировать, используя принципы кластеризации, например.



Контур корпусных плит и варианты корпусов

Современные системы геометрического моделирования предоставляют простой и понятный интерфейс программирования позволяющий конструктору создать соответствующую процедуру самостоятельно, без помощи профессионального программиста.

**Модель API и базы данных для мобильного приложения,
использующего геолокацию**

Савеня Н. С., Шваякова Е. А.

Белорусский национальный технический университет

Геолокация – это определение географического положения пользователя или вычислительного устройства с помощью разнообразных механизмов сбора данных.

Способы определения позиции в мобильных приложениях:

1. GPS, ГЛОНАСС
2. A-GPS
3. Вышки сотовой связи
4. Wi-Fi и Bluetooth
5. IP-адрес

Для хранения информации о географических объектах целесообразно использовать пространственные базы данных, неотъемлемыми компонентами которых являются форма и расположение пространственных объектов в геометрическом пространстве.

Для многих СУБД существуют расширения, позволяющие организовать доступ к пространственным объектам.

Например, для MySQL – это SPATIAL, для PostgreSQL – PostGIS.

Традиционные СУБД используют индексы для быстрого доступа к данным. Однако большинство данных, содержащихся в таких индексах, не оптимально для пространственных запросов.

Вместо этого, пространственные СУБД используют специальные пространственные индексы для ускорения пространственных операций.

Иногда, для обеспечения простоты API и для увеличения скорости работы БД бывает целесообразно передавать и хранить значения всего пары полей (широты и долготы) без использования пространственной базы данных – это обеспечивает легкость, высокую переносимость и скорость загрузки и обработки данных. Передача данных между клиентской и серверной частями приложения осуществляется, как правило, в JSON формате. Для передачи информации о точке, достаточно двух чисел: широты и долготы.

Однако при передаче большого количества точек должны использоваться специальные алгоритмы кодирования для уменьшения размера передаваемых данных и для увеличения скорости загрузки.

Особенности разработки системы для отслеживания маршрутов передвижения пользователей мобильного приложения

Савеня Н. С., Шваякова Е. А.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня практика отслеживания маршрутов передвижения пользователей нашла широкое применение в повседневной жизни, развлечениях, интернет-общении миллионов людей, которые охотно пользуются новыми возможностями электронных устройств.

К наиболее популярным возможностям мобильных приложений в области определения географического положения пользователя можно отнести:

1. Определение и мониторинг своего местонахождения.
2. Прокладывание маршрутов.
3. Ориентация на местности (поиск на местности объектов инфраструктуры).
4. Осуществление поиска электронных гаджетов (утраченных или украденных).
5. Слежение за перемещением своих посылок, перевозимых грузов.

К приложениям, которые используют системы отслеживания маршрутов, относятся карты и навигаторы, социальные сети, такси, фитнес трекеры, игры, дополненная реальность, интернет-магазины и доставка товаров и услуг, прогноз погоды, приложения для путешествий и определения расписания.

Как правило, функциональные особенности таких систем реализованы через клиент-серверное представление.

На клиенте, реализацией которого является мобильное приложение, размещаются физические датчики определения текущего местоположения пользователя или заданного объекта, информация от которых передается серверу.

Он, в свою очередь, должен иметь как алгоритмы необходимой бизнес-логики в соответствии с предметом реализации, так и представлять оптимальную структуру и способы хранения предоставляемых клиентом данных.

Отличительной особенностью таких серверов является необходимость обеспечивать хранение и оперативное представление актуальных данных, используемых в текущих расчетах.

Металлургия черных и цветных сплавов

Сортировка алюминиевого лома и отходов и подготовка к плавке алюминиевой стружки

¹Ринкунас В. Е., ²Павлющик В. В.

¹Гродненский цех «Белцветмет»

²Белорусский национальный технический университет

Большое количество сырья поступает в виде смешанного лома. Сортировка смешанного лома – трудоемкая операция. Эта операция первичной обработки лома и отходов цветных металлов имеет цель разделить лом и отходы на однородные металлы и сплавы, удаляя при этом различные примеси.

Метод сортировки по внешнему признаку основан на том, что отдельные компоненты вторичного сырья имеют различный цвет, маркировку, удельный вес, твердость и магнитные свойства. Поэтому из алюминиевого лома сравнительно несложно выделить неалюминиевые детали. Трудность вызывает сортировка лома по группам сплавов. Внешне сплавы почти не отличаются друг от друга, и тогда приходится прибегать к физико-химическим методам анализа. Но отличить литейные сплавы от деформируемых не составляет труда.

Из всех видов промышленных отходов, поступающих на металлургические заводы для переплавки, максимальная доля приходится на стружку (около 40 %). Поэтому следует ожидать, что состояние этого вида сырья будет влиять на качество выплавляемых сплавов больше, чем другие типы отходов. Следовательно, процессом обработки стружки перед плавкой уделяют особое внимание.

Вторичная металлургия алюминия имеет свою специфику, поскольку оксид алюминия, образовавшийся в процессе хранения или при переплаве, не восстанавливается. Следовательно, входящий в его состав алюминий безвозвратно теряется. Кроме того, оксид алюминия трудно полностью отделить от расплавленного металла, хотя он и не растворяется в основном металле. Однако присутствие оксида в сплавах, обычно в виде твердых включений, отрицательно влияет на свойство изделий. Следует отметить, что стружка из-за развитой поверхности особенно интенсивно окисляется. Оксид, как и другие виды засора, входящие в состав брутто, металлургические заводы поставщикам не оплачивают.

Определение содержания оксида металла в стружке производится по ГОСТ 28053–89 и ГОСТ 28192–89. По гостированной методике отобранные от поступившей партии пробы подвергают лабораторной плавке. Причем принимают необходимые меры для предотвращения возможных потерь. Стандартными методами перед плавкой определяют содержание

влаги, масла, засора, железа без учета на частицы стружки. По результатам лабораторной плавки определяют массу оксида на частицах стружки и содержание металла в пробе.

С увеличением в стружке масла, влаги, грязи, пыли, бумаги, картона, асбеста, обтирочных материалов, механической примеси железа и других посторонних материалов значительно снижается металлургический выход, зависящий, кроме того, от крупности стружки.

На заводы для переплавки обычно поступает влажная стружка с максимальным количеством влаги 20 %. При плавке влажной стружки сильно снижается металлургический выход металла.

Железо, содержание которого в стружке варьируется от десятых долей процента до 10 %, после сушки удаляют магнитной сепарацией. Присутствие железа в стружке нежелательно, поскольку создаются благоприятные условия для коррозии при хранении, также железо при плавке растворяется в алюминии, что снижает качество сплава.

Пыль и грязь мешают переплавке стружки и увеличивают при этом потери металла, так как препятствуют слиянию образовавшихся капель алюминия, и он переходит в шлак. Поэтому при плавке грязной стружки приходится вводить в печь повышенное количество флюса не только для защиты металла от окисления, но и для поглощения оксидной пленки, грязи и пыли. Это приводит к дополнительным расходам на флюс, затрудняет работу плавильщиков, снижая производительность печей и труда, увеличивается количество скачиваемых шлаков и растут потери алюминия.

Смешивание стружки от сплавов с разным химическим составом недопустимо. Экономически эффективно перерабатывать несмешанную стружку сплавов одного химического состава.

При сборе, хранении или транспортировке иногда смешиваются стружки разных алюминиевых сплавов или в неё попадает незначительное количество медной, магниевой, латунной, бронзовой стружки. При переплавке такого смешанного сырья невозможно получить сплав, соответствующий какой-либо марке ГОСТа без корректировки химического состава. Сортировать стружку по сплавам почти невозможно, поэтому смешивание такого вида сырья резко снижает его стоимость. В отдельных случаях смешанную по маркам сплавов стружку можно разделить грохочением, если, например, такая смесь состоит из стружки литейных и деформируемых сплавов.

Подготовленная к плавке стружка должна быть сыпучей, поэтому вилую стружку подвергают дроблению, на дробилках разных конструкций. В некоторых случаях вьюнообразную стружку только пакетируют и направляют на плавку.

Перспективы использования Sr в качестве модификатора силуминов

Бежок А. П.

Белорусский национальный технический университет

Силумины широко используются как конструкционные материалы для фасонного литья во многих отраслях промышленности только благодаря модифицированию. В странах постсоветского пространства для этих целей широко используется натрий. Натрий вводится в расплав в виде универсальных или модифицирующих флюсов. В индустриально развитых странах широко используется модифицирование силуминов стронцием. Стронций можно ввести в расплав в металлическом виде, в виде стронцийсодержащей лигатуры либо в составе флюсов, включающих соли стронция. В случае ввода стронция в металлическом виде, возможно, его самовозгорание с образованием токсичных паров. Кроме этого чистый стронций имеет высокую стоимость.

Наиболее управляемым процессом с точки зрения получения качественного литья является модифицирование с применением лигатур. При этом важнейшим параметром, влияющим на усвоение стронция, является структура лигатуры.

Единственным производителем концентрированных лигатур Al-(30–50%) Sr в СНГ является Исфаринский металлургический комбинат (Таджикистан). Эта лигатура характеризуется повышенным содержанием водорода и крупными тугоплавкими интерметаллидами $SrAl_4$ и не может быть рекомендована для непосредственного использования в качестве модификатора. Номенклатура лигатур других производителей включает в себя лигатуры с содержанием 3,5, 5, 10, 15, 20% (ООО «Орион-Спецсплав- Гатчина»), 5, 10% (Kastwel Foundries), 3,5, 10, 15% (Milward Alloys). Выпускаются лигатуры в виде стандартных форм – вафельных слитков различных развесов (5–7, 20 кг) и вафельных полос. Для точного дозирования производят лигатуру в виде рубленых прутков шестигранного или круглого сечения весом от 30 г до 1 кг диаметром от 9 до 30 мм и в виде проволоки диаметром 9 мм в бухтах.

Бедные стронцием лигатуры ($\leq 10\%$ Sr) не содержат свободного стронция (так как он находится в лигатуре в виде интерметаллидов) и имеют более низкие температуры плавления (от 700 °С для 5% до 800 °С для 10%) по сравнению с лигатурой Al-30% Sr (1040 °С). Время усвоения таких лигатур при постоянной технологии модифицирования будет определяться, в основном, размерами $SrAl_4$, которые в свою очередь зависят от концентрации и скорости охлаждения лигатуры. В связи с этим рекомендуется использовать бедные стронцием лигатуры, полученные с повышенными скоростями охлаждения в виде проволоки минимального диаметра (около 9 мм).

Определение оптимальных технологических схем получения легированной стали различных марок в цикле выплавка – внепечная обработка

Корнеев С. В., Трусова И. А.

Белорусский национальный технический университет

Определение оптимальных технологических схем получения легированной стали различных марок в цикле выплавка – внепечная обработка рассматривали в двух аспектах:

- 1) получения максимальных качественных показателей при ограничениях на возможности технологического оборудования;
- 2) получения заданных качественных показателей при минимальной себестоимости продукции.

Первая задача возникает при необходимости рассмотреть возможность получения легированной стали конкретной марки для деталей ответственного назначения в действующем цехе с конкретным набором оборудования в виде печи, установки доводки металла, либо печи-ковша, различных вакууматоров и другого оборудования для внепечной обработки.

Для решения данной задачи необходимо: определить ключевые и второстепенные качественные показатели, такие например, как содержание серы, фосфора, примесей цветных металлов, водорода, вида и количества неметаллических включений от которых в свою очередь зависят механические и эксплуатационные свойства готовых изделий; установить возможности по достижению заданных показателей на агрегатах, имеющихся в наличии; определить возможные комбинации совместной работы агрегатов при различных технологических приемах и ограничениях на время обработки и качество исходной шихты и материалов. Например, по одному варианту технологии рафинирование стали производится с однократным вакуумированием и с осадочным раскислением алюминием. По другому варианту рафинирование стали осуществляется с двукратным вакуумированием и вакуумно-углеродным раскислением на установке и в процессе отливки слитка, при этом содержание алюминия в стали в среднем в два раза ниже. Результатом внепечной обработки по второму варианту по сравнению с первым является изменение основного типа неметаллических включений с силикатов хрупких, на силикаты недеформирующиеся, что по многим причинам является положительным эффектом.

При решении задачи по минимизации себестоимости были рассмотрены различные варианты использования шихтовых материалов, а также легирующих, шлакообразующих и модификаторов.

**Оптимизация технологических режимов при различной доле
металлизованного сырья, используемого при выплавке стали
в электродуговых печах**

Корнеев С. В.

Белорусский национальный технический университет

Металлизованное сырье можно подавать в рабочее пространство в различных режимах: непрерывно и периодически. Выплавка стали с непрерывной загрузкой металлизированных окатышей обладает рядом преимуществ по сравнению с бадьевой загрузкой лома, основными из которых являются стабилизация процесса горения дуги; значительное уменьшение фликер-эффекта; отсутствие потерь энергии открытой печью и операций завалки и подвалки. В тоже время при непрерывной загрузке можно выделить недостатки технологии: низкая эффективность использования средств интенсификации плавки в виде топливно-кислородных горелок; большие потери через ограждающие конструкции (водоохлаждаемые панели). Поэтому важным условием высокой эффективности процесса является поддержание шлака во вспененном состоянии.

Поскольку, помимо выплавки в ДСП высококачественных марок стали, значительную долю занимает выплавка рядовых марок стали, то ориентация технологии на выплавку с использованием непрерывной загрузки 100% металлизированных окатышей обычно нерациональна, так как должна быть обеспечена возможность работы на обычном металлоломе.

При непрерывном процессе подачи металлизированных окатышей в рабочее пространство электродуговой печи особенно важным является вопрос обеспечения необходимой скорости подачи металлизированных окатышей в жидкую ванну. Наиболее эффективным будет режим с равными скоростями подачи и плавления окатышей. Другая проблема, возникающая при выплавке стали с использованием металлизированных окатышей, заключается в выборе момента начала подачи окатышей и их расхода при загрузке в начале плавки части металлошихты в виде лома. Установлено, что наилучшие показатели по удельному расходу электрической энергии и времени плавки достигаются при подаче окатышей в момент расплавления 20–30% загруженного лома с низкой начальной скоростью подачи с увеличением в процессе плавки.

Влияние длительности плавки на расход легирующих при выплавке ЧХ28 в индукционной тигельной печи

Румянцева Г. А., Ратников П. Э.

Белорусский национальный технический университет

В себестоимости производства литых изделий из легированных чугунов заметное место занимает стоимость ферросплавов, поэтому проблема снижения расхода легирующих достаточно актуальна. Современные высокочастотные печи позволяют плавно изменять мощность печи. В процессе выполнения исследований по снижению угара легирующих элементов было замечено, что при выплавке хромистого чугуна ЧХ28 (ГОСТ 7769–82) в высокочастотной (7–30 кГц) индукционной тигельной печи YR-120 при последовательном снижении потребляемой мощности печи улучшилось усвоение хрома.

Угар элементов определяли по следующему алгоритму: зная точный химический состав шихтовых компонентов, рассчитывали шихтовку плавки с нулевым угаром. Далее проводили плавку, после чего взвешивали массу полученного металла и шлака. Проводили химический анализ реального содержания элементов в полученном сплаве и шлаке. Данные химического анализа сравнивались с первичной массой элементов, поданных в завалку, что позволило вывести коэффициент потерь того или иного элемента при плавке. Данные потери представляли собой угар и переход элементов в шлак.

Следующим этапом явилось проведение аналогичного эксперимента, но при этом плавка велась на пониженной мощности. В результате оказалось, что изменилось содержание хрома в металле и шлаке: в шлаке содержание хрома уменьшилось в 10 раз по сравнению с плавкой на полной мощности. Угар кремния при увеличении длительности плавки повысился в незначительной степени. Угар хрома остался примерно на первоначальном уровне.

По ГОСТ 4757–91 феррохром поставляется в кусках массой не более 20 кг или в виде дробленых и просеянных частиц с диапазоном размеров 3,15–315 мм, при этом количество фракции с размером менее 20×20 мм не должно превышать 10 % от массы партии. В индукционных печах небольшой емкости (до 400 кг) куски феррохрома размером более 50×50 мм при форсированной плавке не успевают полностью раствориться и переходят в шлак. Одним из способов борьбы с такими потерями является увеличение времени плавки.

Но уменьшение мощности печи приводит к снижению производительности, поэтому перед технологами стоит выбор: или снижение расхода дорогостоящих легирующих добавок при одновременной потере производительности и увеличении энергопотребления или экономия ферросплавов при выплавке и уменьшение образующего шлака, идущего в отвал.

**Технологические аспекты получения лигатур,
с использованием вторичных материалов**

Слуцкий А. Г., Кулинич И. Л., Иванов А. И.
Белорусский национальный технический университет

Одним из путей повышения эксплуатационной надежности изделий из литейных сплавов является процесс легирования за счет различных ферросплавов, поставляемых по импорту. Ранее выполненные исследования показали перспективность применения в составе металлошихты легирующих присадок на основе отходов смежных производств (отработанные катализаторы, шламы гальванического и шлаки цветно-литейного производств). В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований возможности получения различных лигатур методом металлотермического восстановления. Термодинамические расчеты показали, что за счет высокой термичности процесс алюмотермического восстановления таких элементов как молибден, медь, никель и марганец можно успешно осуществлять без предварительного внешнего подогрева смеси. Это, в свою очередь, позволяет использовать в составах восстановительных смесей различные дисперсные отходы, содержащие оксиды легирующих элементов. В лабораторных условиях по разработанной методике выполнены экспериментальные исследования процесса получения лигатур с использованием в составе восстановительных смесей дисперсных фракций (0,1–0,05 мм) медьсодержащего шлака, никель- и молибденсодержащих отработанных катализаторов, гальванических шламов, содержащих марганец. В качестве восстановителя использовали порошок алюминия и частично кальций, входящий в состав силикокальция. Для обеспечения полноты протекания химических реакций основной восстановитель добавляли с избытком. Установлено, что на характер процесса восстановительной плавки лигатуры существенное влияние оказывает соотношение в составе смеси различных оксидов меди, никеля, молибдена и марганца. При этом, например, максимальное количество отходов в виде дисперсной части медьсодержащего шлака не должно превышать 30–40 %. В противном случае из-за низкой термичности процесс восстановления меди осуществляется не полностью. С учетом выявленных особенностей процесса в лабораторных условиях получены опытные образцы лигатур медь-кремний, медь-марганец, медь-молибден, никель-кремний.

Результаты опытных плавов показали, что процесс алюминотермического восстановления металлов протекает активно практически без выбросов продуктов реакции за пределы тигля, что обеспечивает достаточно высокий металлургический выход по лигатуре (от 89 до 94 %).

**Технологические особенности получения чугунной фибры
в лабораторных условиях**

Шейнерт В. А., Галузо О. Г., Кулинич И. Л.
Белорусский национальный технический университет

Для получения железоуглеродистого сплава используется малая индукционная печь на базе полупроводникового инвертора мощностью 30 кВт, обеспечивающий скоростную плавку малых объемов металла с последующим его диспергированием на установке. Предложено технологическое решение, заключающееся в осуществлении в скоростном расплавлении шихтовой заготовки, диспергации расплавленного металла на отдельные капли регулируемого размера с последующей скоростной кристаллизацией этих капель на подвижном кристаллизаторе и удалением полученной фибры из технологической зоны. Для стабилизации процесса разлива жидкий металл подается на диспергатор через промежуточную чашу и обогреваемую струйную трубку.

Процесс получения чугунной фибры на экспериментальной лабораторной установке сводится к следующему: при подаче электрического напряжения питания от источника тока между не расходующим графитовым электродом и графитовым диспергатором возбуждается дуговой разряд. Тепло выделяемое дугой прогревает диспергатор, что позволяет расплаву чугуна заливаемого через промежуточную чашу и струйную трубку в стакан диспергатора сохранять высокую температуру и жидкотекучесть, что в свою очередь позволяет получать капли металла заданного размера, которые отбрасываются на поверхность кристаллизатора, приводимого электродвигателем во вращение вокруг вертикальной оси через шпindel, скользящий контакт обеспечивает надежный отвод электрического тока от диспергатора во время вращения шпинделя. Капли металла летящие к кристаллизатору затвердевают на нем, образуя фибру, которая собирается в кольцевом сборнике.

По такой технологической схеме были получены опытные образцы чугунной фибры, которая подвергалась рассеву на фракции размером от 1,1 мм до 20 мм на полигональных ситах с прямоугольными и квадратными ячейками. При этом часть фибры была подвергнута высокотемпературному отжигу при температуре 900 °С в течение 60 мин, что позволило получить структуру ферритного ковкого чугуна с соответствующими свойствами пластичности.

В результате выполненных наладочных и экспериментальных работ была оценена возможность получения литой чугунной фибры с ледебуритной структурой, обеспечивающей высокую прочность и упругость фиброэлементов, из которой, последующим отжигом, возможно, получить ферритную фибру не уступающую по пластичности стальной.

Газовая пористость в отливках при литье под давлением¹Михальцов А. М., ²Пивоварчик А. А.¹Белорусский национальный технический университет²Гродненский государственный университет

Газоусадочная пористость отливок, получаемых литьем под давлением (ППД), является одним из наиболее существенных недостатков процесса.

Выполненными по специальной методике исследованиями установлено, что при одинаковых скоростных параметрах запрессовки, но при различных силовых условиях прессования, газосодержание отливок различается. При больших усилиях подпрессовки создаются условия для растворения газов в металле затвердевающей отливки. Согласно закону, установленному Сиверстсом, растворимость газов в металле улучшается с повышением давления и температуры, то есть, при условиях, характерных для литья под давлением. Наибольшей растворимостью в алюминиевых сплавах обладает водород. Но при затвердевании его растворимость скачкообразно снижается, что является одной из причин образования газовой пористости в отливках при обычных способах литья. Заметной растворимостью, по данным одних авторов, в жидком алюминии обладает азот. Однако, по мнению других, азот не растворяется в жидком алюминии, а вступает с ним в реакцию с образованием нитрида. В процессе запрессовки в пресс-форму, жидкий алюминиевый сплав интенсивно перемешивается с воздухом, образуя газовые включения в затвердевающей отливке. Кислород воздуха, при этом, расходуется на образование оксида. В результате, образующееся газовое включение изнутри покрыто оксидной пленкой. Возникшая оксидная пленка является труднопреодолимым барьером для дальнейшего возможного взаимодействия алюминиевого сплава с компонентами газового включения, прежде всего – азота. Анализ структуры полученных отливок показал, что, при эффективной подпрессовке, происходит разрушение газовых включений. В результате создаются условия для возможного взаимодействия, не подвергшегося окислению алюминия с азотом. Расчеты, выполненные по формулам, приведенным в работах А. И. Вейника, показывают возможность существенного повышения температуры газовых включений, что создает условия для диссоциации молекулярного азота на атомы. А атомарный азот легко вступает во взаимодействие с жидким алюминием с образованием нитрида. Таким образом, газосодержание затвердевающих отливок при ЛПД, можно существенно снизить, создавая условия для эффективной подпрессовки.

Использование карбонатов щелочноземельных металлов в составе модификаторов для чугунов и сталей¹Барановский К. Э., ²Сидоркин А. С.¹Белорусский национальный технический университет²ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

Модифицирование, как технологическая операция, направлена на управление первичной структурой железоуглеродистых сплавов, для чугунов она выражается в ликвидации отбела на поверхности отливок, а для сталей в измельчении зерна, повышении жидкотекучести расплава, улучшении формы неметаллических включений, повышении механических свойств. Применение модифицирования является неотъемлемой частью технологического процесса производства качественных отливок из чугунов и сталей. Эффективность модификатора, зачастую, выступает основополагающим фактором, определяющим процент годного литья.

В настоящее время рядом предприятий для обработки расплавов используются щелочноземельные металлы (ЩЗМ) которые оказывают модифицирующее воздействие, а также активно связывают серу. Однако низкая температура кипения ЩЗМ и высокая упругость пара затрудняет их эффективное использование в чистом виде, поэтому наиболее доступным вариантом их использования являются карбонаты (CaCO_3 , SrCO_3 , BaCO_3). Карбонаты при их введении в расплав диссоциирует на оксиды ЩЗМ и CO_2 . Пузырьки CO_2 всплывая удаляют с собой неметаллические включения и газы, что благоприятно сказывается в первую очередь на механических свойствах. Обработка серого чугуна карбонатами является на сегодняшний день одним из перспективных направлений развития графитизирующего модифицирования серых чугунов. Образовавшиеся оксиды способствуют связыванию серы и очищению границ зерен от неметаллических включений и переводу их в глобулярную форму. Неметаллические включения, к которым относятся оксиды и оксисульфиды, являются центрами кристаллизации, что способствует инокулирующему модифицированию в сером чугуне и устранению отбела, измельчение структуры сплава повышает механические свойства как серого чугуна, так и сталей.

Карбонаты щелочных металлов входят в состав комплексных модификаторов разных производителей. Модификаторы с карбонатами ЩЗМ (опробованные на ОАО «МТЗ») оказывают рафинирующее воздействие на расплав, обеспечивают гомогенизацию макро- и микроструктуры, повышают однородность расплава, увеличивают жидкотекучесть, повышают механические свойства сталей и чугунов.

Применение экзотермической утеплительной смеси для открытых прибылей

¹Барановский К. Э., ¹Розенберг Е. В., ²Розум В. А.
¹Белорусский национальный технический университет
²ООО «ПолитегМет»

Экзотермические смеси позволяют получить качественные отливки без дефектов усадочного характера. Покрывая поверхность металла в открытой прибыли, смесь увеличивают время и эффективность работы прибыли за счет уменьшения потерь тепла и локального разогрева. Введение в состав утеплительной экзотермической смеси добавок, содержащих нано и ультрадисперсные частицы резко повышает площадь поверхности протекания реакции, за счет развитой поверхности этих частиц, тем самым увеличивается эффективность работы смеси, уменьшится время необходимое для начала экзотермической реакции, повышается температура максимального разогрева. По результатам проведенных исследований разработан экспериментальный состав покровной экзотермической утеплительной смеси, содержащей ультрадисперсные частицы, который может быть использован для утепления прибылей в литейных цехах предприятий машиностроительного профиля. Проведены опыты по опробованию экспериментального состава экзотермической смеси в условиях действующего производства.

В «Институте технологии металлов» НАН Беларуси опробован экспериментальный состав утеплительной смеси для производства отливок «отбойная плита» из износостойкого хромистого чугуна марки ИЧХ18ВМ. Экзотермическая смесь засыпалась на зеркало металла в открытую прибыль, через которую проводилась заливка, сразу по ее завершению. После выбивки отливок из форм и отделении их прибыльных частей был измерен объем «утяжин», рассчитан вес и процент расплав, ушедшего на питание отливок.

В результате проведенных экспериментов установлено, что применение экзотермической смеси повысило эффективность работы прибыли на 40–60 %. Прибыль работала до конца кристаллизации расплава и перевела усадочную раковину из тела отливки в прибыльную часть. Применение покровной утеплительной экзотермической смеси позволяет уменьшить объем прибыли в 1,5 раза. При литье отбойных плит за счет экономии металла это позволит получать с одного заливочного ковша одиннадцать отливок вместо десяти, кроме того повышение плотности отливок увеличит ресурс их работы, за счет устранения пористости.

Получение модифицирующей композиции для серого чугуна¹Розенберг Е. В., ²Розум В. А.¹Белорусский национальный технический университет²ООО «ПолитегМет»

Для модифицирования серого чугуна, также, как и для стали, существует возможность использования отсевов модификаторов в скомпактированном виде. В качестве связующего в модифицирующей композиции для чугуна применять алюминий не целесообразно. Это обусловлено тем, что кроме графитизирующего эффекта алюминий оказывает ферритизирующее действие, а также негативно влияет на технологические свойства расплавленного чугуна, снижая его жидкотекучесть за счет образования пленок оксида алюминия, что способствует зарастанию ковшей и технических устройств. Из представленных на рынке связующих - жидкое стекло нежелательно применять в составе модифицирующей композиции, так как оно не сгорает при температурах ввода в чугун, а дает неметаллические включения, что повышает объём шлаковых образований и негативно сказывается на процессе производства качественных отливок. Акриловые дисперсии являются органическими соединениями, которые полностью сгорают при температурах расплавления чугуна и не оказывают негативного влияния на расплав.

Были проведены опыты по оценки возможности компактирования отсевов модификаторов выбранным связующим веществом, которые показали, что 2 % акриловой суспензии в комбинации с 2 % воды и последующей сушкой при 90–100 °С дает наилучшую комбинацию прочностных и технологических свойств. В лабораторных условиях была проведена серия опытов по исследованию влияния графитизирующих свойств скомпактированной модифицирующей композиции для чугуна. В предварительно подготовленную навеску смеси (представляющую собой отсев модификатора), вводили комбинацию акриловой дисперсии и воды. После перемешивания всех компонентов образец подвергался сушке в сушильном шкафу при температуре 100 °С в течение 90 минут. После остывания модифицирующая композиция представляет достаточно прочно скрепленные между собой конгломераты, состоящие из различных компонентов, которые легко вводятся и хорошо усваиваются в расплаве чугуна.

Анализ результатов модифицирования показал, что смесевой модификатор с скомпактированными отсевами хорошо устраняет отбел и не уступает, как стандартному смесевому модификатору, так и модификатору «sibar» производства Россия, но значительно дешевле его.

Влияние температурно-временной обработки композиций Al-Ti/SiC на процессы получения дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов, армированных карбидной керамикой

Рафальский И. В.

Белорусский национальный технический университет

Анализ термодинамической вероятности протекания химических реакций между карбидом кремния и основными легирующими элементами и примесями алюминиевых сплавов показал, что химическое взаимодействие SiC при получении и последующей температурно-временной обработке (ТВО) композиций на основе систем Al/C, Al/SiC и Al/C-SiC, при котором продуктами реакции являются карбиды вступающих в реакцию элементов, наиболее вероятно с титаном, цирконием и ванадием. Температурные режимы ТВО композиций Al/C и Al/C-SiC позволяют свободному углероду вступать в химическое взаимодействие не только с алюминием (с образованием карбида алюминия Al_4C_3), но и с рядом других примесей и легирующих элементов расплава, в том числе В, Са, Се, Сг, Sr, Ti, V, W, Zr.

Экспериментально показано, что ТВО жидко-твердофазных (ЖТФ) композиций системы Al-Ti/SiC при нагреве до 800–900 °С приводит к тому, что титан локализуется по границам раздела частиц карбидной керамики, образуя контактный слой, содержащий продукты реакций титана с карбидом кремния. Образование на контактной поверхности частиц карбида кремния реакционного слоя сопровождается эффектом самопроизвольного смачивания и полного усвоения расплавом карбидной керамики в композиционной суспензии Al-Ti/SiC. При проведении ТВО частицы карбидной керамики с расплавом образуют однородную высоковязкую ЖТФ-смесь.

Установлено, что при проведении ТВО композиций Al-1% Ti-1% Fe/10% SiC (нагрев до 850–900 °С) в структуре полученных сплавов могут формироваться разветвленные колонии железосодержащих карбидных фаз. Примеси магния в композициях на основе системы Al/SiC не оказывают существенного влияния на структуру карбидных фаз.

Выполнен расчет плотности контактного реакционного слоя $Al_3Ti-TiC-(TiSi_2, Ti_5Si_3)$ на поверхности частиц карбида кремния (от 4229 до 4397 кг/м³, что превышает плотность карбида кремния более, чем на 30 %.) Показано, что толщина реакционного слоя $Al_3Ti-TiC-Ti_5Si_3$ на дисперсных частицах карбида кремния зависит от содержания титана в композиционной суспензии Al-Ti/10% SiC и размера фракции SiC.

Анализ условий образования алюминатов в рафинировочных шлаках

Трибушевский Л. В., Неменёнок Б. М., Кулик М. А.
Белорусский национальный технический университет

Рафинировочные шлаки, используемые при внепечной обработке стали на установке «печь-ковш», представляют собой многокомпонентную оксидную систему. С целью снижения окисленности рафинировочного шлака (содержания FeO, MnO) его подвергают раскислению специальными смесями, содержащими $Al_{мет}$ и Al_2O_3 . Представляло интерес оценить вероятность протекания реакций с участием и компонентов рафинировочного шлака.

В результате термодинамического анализа реакций взаимодействия CaO, SiO_2 и Al_2O_3 в интервале температур 400-1873 К установлена возможность образования алюминов кальция $C_{12}A_7$ ($12CaO \cdot 7Al_2O_3$); C_3A ($3Ca \cdot Al_2O_3$); CA ($CaO \cdot Al_2O_3$); CA_2 ($CaO \cdot 2Al_2O_3$); силикатов кальция C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$); C_3S ($3CaO \cdot SiO_2$); CS ($CaO \cdot SiO_2$); C_3S_2 ($3CaO \cdot 2SiO_2$); C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$) и алюмосиликатов кальция C_2AS ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$); CAS ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$); C_3AlS_3 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$); CAS_2 ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). При этом изменение энергии Гиббса у реакций, протекающих при 1873 К с образованием алюмината $C_{12}A_7$, составляет от $-109,3$ до $-83,03$ кДж/моль, что свидетельствует от большой вероятности образования данного соединения. Образование соединения CA сопровождается изменением энергии Гиббса на уровне $(-49,77) \div (-43,19)$ кДж/моль. В зависимости от соотношения исходных компонентов, участвующих в реакции, изменение энергии Гиббса при образовании алюминатов, силикатов и алюмосиликатов кальция колеблется в широких пределах. Максимальное отрицательное значение ΔG_T на уровне -169 кДж/моль характерно при образовании C_2AS . В диапазоне ΔG_T $(-90) \div (-100)$ кДж/моль возможно образование соединений $C_{12}A_7$; C_2S , CAS. Для интервала изменения ΔG_T $(-70) \div (-90)$ кДж/моль реакции завершаются образованием $C_{12}A_7$, C_2S , C_3S , C_3AS_3 . Изменение энергии Гиббса на уровне $(-40) \div (-70)$ кДж/моль отмечается при образовании соединений CA; C_3A ; C_2S ; CS; C_3S_2 ; C_2AS ; CAS_2 . С изменением энергии Гиббса на уровне $(-20) \div (-40)$ кДж/моль протекают реакции, сопровождающиеся образованием CA_2 , C_2S , CS, C_2AS .

Из рассчитанных 32 химических реакций, только три имеют положительное изменение ΔG_T , что свидетельствует о невозможности их протекания с образованием соединения C_3S .

Проделанные расчеты подтверждают возможность образования в рафинирующих шлаках соединений Al_2O_3 с CaO и SiO_2 , что необходимо учитывать в процессах раскисления и десульфурации стали.

Повышение эффективности рафинирования расплава газами

Довнар Г. В., Янушкевич Д. В., Скируха А. С.
Белорусский национальный технический университет

Одной из причин возникновения микропористости в отливках является повышенное содержание газов в расплаве, главным образом водорода, который вносится в расплав с парами воды и различными органическими соединениями. Наиболее распространенным способом дегазации является продувка расплава газами (аргоном или азотом). Расчеты показывают, что для удаления из расплава определенного количества растворенного водорода, через расплав необходимо пропустить в 10–50 раз большее количество инертного газа. Расчетами установлено, что 1 л газа дает 2000 пузырьков диаметром 10 мм, а при уменьшении диаметра до 1 мм число пузырьков возрастает до 2 млн. Уменьшение диаметра пузырьков газа, в свою очередь, способствует увеличению длительности их пребывания в расплаве, что повышает эффективность рафинирования.

В результате опробования нескольких способов очистки расплава инертными газами установлено, что струйная дегазация в ванне печи малоэффективна, а при продувке через пористые насадки эффективность рафинирования не превышает 20 % и возникает необходимость последующей фильтрации расплава для отделения шлака.

Продувка расплава через пористые насадки в выносной ванне во время слива металла повышает эффективность дегазации до 30 %. Максимальная степень дегазации (до 60 %) обеспечивается продувкой через вращающееся сопло с частотой до 700 мин⁻¹ в герметичной выносной камере. Избыточное давление инертного газа над расплавом исключает его окисление и образование шлаковой «пены», что также сказывается на эффективности рафинирования.

Однако такая технология дегазации может быть реализована только для больших объемов расплава. Применительно к раздаточным печам или ковшам с массой расплава 200–400 кг наиболее приемлема продувка расплава через трубку с кольцевым наконечником, в котором выполнена прорезь шириной 1–2 мм. Для диспергирования рафинирующего газа кольцевой наконечник обматывается стеклотканью в 2–3 слоя, что обеспечивает стабильное получение пузырьков газа диаметром 3–5 мм. При необходимости получения меньших размеров пузырьков количество слоев стеклоткани увеличивается до 5. После окончания продувки устройство извлекается из расплава и легким встряхиванием освобождается от его остатков. Такое простое устройство обеспечивает эффективность рафинирования на уровне 30–40 %.

Внепечная обработка деформируемых алюминиевых сплавов в процессе разливки

Колоско П. С., Бежок А. П., Довнар Г. В.
Белорусский национальный технический университет

Развитие техники предъявляет все более высокие требования к чистоте используемых материалов по неметаллическим включениям. Так, при изготовлении профилей и штамповок из сплава Д16, не допускаются неметаллические включения размером 500 мкм и более. В случае получения алюминиевой фольги для изготовления конденсаторов допустимый размер включений ограничивается 6 мкм. В необработанном алюминиевом расплаве суммарное содержание твердых и газообразных неметаллических примесей зависит от вида использованной шихты, типа плавильно-литейного агрегата и обычно составляет 50-100 ррт, а в отдельных случаях достигает и 500 ррт. Это обстоятельство требует от металлургов поиска новых, более эффективных способов внепечной обработки.

Применительно к условиям СООО «АлюминТехно» деформируемые алюминиевые сплавы выплавляют в газовой пламенной печи отражательного типа SAMF-35 емкостью 35 т с последующей выдержкой расплава в миксере TANF-30. Для удаления неметаллических включений во время плавки расплав продувается азотом через донные пробки, а после полного расплавления шихты обрабатывается покровно-рафинирующим флюсом. При передаче металла из миксера в камеру дегазации его модифицируют в металлопроводе прутковой лигатурой Al-5Ti-B из расчета 0,10-0,12%. В камере дегазации расплав продувается сухим азотом из расчета 0,25-0,75 м³/т, а при выходе из нее фильтруется через пенокерамический фильтр с размерами 584x584x50 и пористостью 40 ррт и попадает на разливочный стол. В зависимости от диаметра (5,7 и 9 дюймов) количество одновременно отливаемых слитков соответственно составляет 60, 54 и 36 штук.

К важнейшим требованиям для слитков относится их прямолинейность, равномерная по сечению макроструктура и минимальная приповерхностная ликвационная зона с шириной не более 0,1-0,2 мм.

Принятая рафинирующая обработка расплава позволяет минимизировать загрязненность отливаемых слитков неметаллическими включениями, а модифицирование прутковой лигатурой и режим охлаждения слитка обеспечивают получение требуемого третьего балла зерна.

**Разжижение шлаков при внепечной обработке стали
отходами переработки вторичного алюминия**

Трибушевский Л. В., Неменёнок Б. М., Самусева А. И.
Белорусский национальный технический университет

В ряде публикаций отмечается положительное влияние Al_2O_3 на жидкоподвижность рафинировочного шлака и указывает, что при содержании в составе шлака 20-35 % Al_2O_3 отпадает необходимость в его разжижении и использовании CaF_2 .

Анализ реакций взаимодействия Al_2O_3 с компонентами рафинировочного шлака показал возможность образования ряда соединений с достаточно высокими температурами плавления: $3CaO \cdot Al_2O_3$ ($t_{пл} = 1535 \text{ } ^\circ\text{C}$); $CaO \cdot Al_2O_3$ ($t_{пл} = 1610 \text{ } ^\circ\text{C}$); $CaO \cdot 2Al_2O_3$ ($t_{пл} = 1765 \text{ } ^\circ\text{C}$); $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ($t_{пл} = 1553 \text{ } ^\circ\text{C}$); $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ($t_{пл} = 1593 \text{ } ^\circ\text{C}$); $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ ($t_{пл} = 1527 \text{ } ^\circ\text{C}$). Поэтому эффект повышения жидкоподвижности рафинировочных шлаков при добавке Al_2O_3 , очевидно, следует связывать с возможностью образования легкоплавких эвтектик. Так в системе $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ образуются эвтектики с температурами плавления 1170, 1265, 1310, 1345 $^\circ\text{C}$. В системе $MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ существуют эвтектики с температурами плавления 1295, 1160 и 1222 $^\circ\text{C}$.

Для корректировки состава рафинировочного шлака по содержанию Al_2O_3 использовали брикеты на основе отходов переработки вторичного алюминия (ОПВА) с добавлением CaO . С использованием метода математического планирования экспериментов установили зависимость разрушающей нагрузки на брикеты и их осыпаемость от содержания CaO , времени и температуры сушки. Для производственных условий предложена технология получения разжижителя в виде крупных гранул диаметром 3-4 см. Присадка 250 кг гранул на поверхность рафинировочного шлака 100-тонного сталеразливочного ковша обеспечила заметное разжижение шлака и перевод его из категории «нормальный» в «жидкоподвижный» с повышением коэффициента распределения серы с 123,4 до 146,2.

Таким образом, использование ОПВА для производства разжижителей рафинировочного шлака позволяет обеспечить необходимую жидкоподвижность рафинировочного шлака; повысить его десульфурисующую способность за счет повышения коэффициента распределения серы; снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, исключив использование CaF_2 и захоронение отвальных алюминиевых шлаков.

УДК 546.39

Извлечение из водных растворов ионов меди фильтрующими загрузками, содержащими оксидные соединения Ca-Mg-Si-Al

Панасюгин А. С., Тиран А. И., Ануфриев В. Н., Григорьев С. В.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе изучено извлечение катионов Cu^{2+} из водных растворов материалом, полученным на основе оксидных соединений Ca-Mg-Si-Al.

Установлено, что процесс очистки воды от ионов меди (II) данным материалом идет по смешанному механизму как за счет образования труднорастворимых силикатов, так и за счет образования гидроксидов.

Эффективность извлечения ионов меди (II) в статических условиях определяли следующим образом: к 0,1 г исследуемого образца приливали 200 мл водного раствора CuSO_4 , содержащего 10 мг/л меди (II), выдерживали 24 ч при постоянном перемешивании, затем раствор отделяли от фильтрующей загрузки. Время выдержки загрузки под маточным раствором было определено предварительными исследованиями, в ходе которых установлено, что равновесие загрузка – раствор устанавливается за 22–24 ч, дальнейшее увеличение времени контакта не приводит к росту степени осаждения ионов меди (II) из раствора.

Использовали фракцию загрузки 1,0–1,5 мм. В ходе предварительных экспериментов было установлено, что размер гранул 1,0–1,5 мм является оптимальным, так как позволяет работать в течение наибольшего промежутка времени до наступления кальматации.

Несмотря на высокие показатели скорости фильтрации, полученные на дистиллированной воде до 25 колоночных объемов в час, при пропускании модельных растворов полученных на основе водопроводной воды скорость фильтрации не удастся повысить выше 10 колоночных объемов в час. Это связано с тем, что содержащиеся в очищаемой воде ионы меди (0,1–1,5 мг/л) не успевают прореагировать с поверхностью загрузки.

Таким образом, в процессе изучения сорбции микро количеств, а меди (II) показано, что после через фильтрующую загрузку от общего количества в исходном растворе ионов меди осталось не более 0,005 1,5 мг/л, что меньше в 5 раз пределов ПДК.

Особенности модифицирования шунгита с целью получения фильтрующих загрузок для извлечения водорастворимых эфиров уксусной кислоты

Панасюгин А. С., Ануфриев В. Н., Григорьев С. В., Дроздовская М. С.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе изучено извлечение водорастворимых эфиров уксусной кислоты из водных растворов материалов, полученным на основе шунгитом модифицированным фосфорной кислотой.

Эфиры уксусной кислоты как растворители, широко используются в производстве лакокрасочных материалов, также они входят в композиции, перхлорвиниловых и эпоксидных эмалей, разных смазочных масел, восков, полиэфирных лаков, красок, кремниорганических лаков, эмалей, в изготовлении клеевых композиций.

Как реагенты и как реакционная среда в производстве фармацевтических препаратов (метоксазол, гидрокортизон, рифампицин и т. д.), как обезжиривающие агенты в производстве алюминиевой фольги и тонких алюминиевых листов. Как очищающие и обезжиривающие агенты в электронной промышленности, в производстве целлофана, различных резинотехнических изделий. В смеси со спиртом как растворитель в производстве искусственной кожи, Как экстрагирующий агент для различных органических веществ из водных растворов. Благодаря низкой токсичности этилацетат используется в пищевой промышленности, например, для экстрагирования кофеина из кофе. Как желатинизирующее средство при изготовлении взрывчатых веществ.

Как компонент (пищевая добавка E1504) фруктовой эссенции, которую добавляют в прохладительные напитки, ликеры и кондитерские изделия. Широкий спектр применения эфиров уксусной кислоты приводит к тому, что они, имея растворимость в воде 5-12 % по массе могут приводить к серьезным загрязнениям водных объектов.

В ходе исследований установлено, что шунгит модифицированный фосфорной кислотой при сорбции в динамическом режиме позволяет извлекать этилацетат, бутилацетат, пропилацетат и амилацетат, соответственно 3,21; 2,78; 2,06 и 1,11 ммоль/г.

**Исследование параметров микроструктуры штамповой оснастки,
полученной методом точного литья**

Андриц А. А., Рудницкий Ф. И., Лущик П. Е., Долгий Л. П., Лущик Т. Н.
Белорусский национальный технический университет

Литые штамповые стали являются перспективным материалом для изготовления кузнечно-прессового инструмента и технологической оснастки. Преимущества по сравнению с деформированными сталями заключаются, прежде всего, в технологичности – возможности изготовления литых заготовок с размерами, максимально приближенными к размерам готового инструмента, возможности использования вторичных материалов, возможности корректировки химического состава по ходу плавки и др. Во-вторых, литая сталь обладает повышенной износостойкостью.

Но, поскольку литая сталь значительно уступает деформированной по ударной вязкости, при ее выплавке необходимо использовать модифицирование для управления структурообразованием в процессе кристаллизации заготовок. Модифицирующие элементы, во-первых, оказывают рафинирующее влияние – связывают неметаллические включения, выводят в шлак и тем самым уменьшают их количество, во-вторых, оказывают микролегирующее действие – увеличивают легированность твердого раствора или образуют химические соединения (например при использовании титана могут образовываться более устойчивые, чем карбиды железа, карбиды титана) и, в третьих, непосредственно модифицирующее действие (измельчение структурных составляющих стали, как непосредственно в литом состоянии так и после полной термической обработки).

В работе проведен сравнительный анализ микроструктуры модифицированных и немодифицированных образцов стали полученных при изготовлении штамповой оснастки по технологии точного литья, а также проведен анализ поверхности разрушения образцов. На микроструктуре образцов технологической оснастки из стали 5ХНМ после полной термической обработки, было обнаружено более мелкое зерно в модифицированной бариером стали и соответственно дисперснее продукт изотермического превращения аустенита – мартенсит. По микроструктуре наблюдается меньшее количество неметаллических включений. На фрактограммах, так же меньше включений – инициаторов разрушения. Излом образцов модифицированной стали межзеренный, вязкий более высокой энергоемкости со следами глубинных вырывов, при отсутствии фасеток скола, как на изломе немодифицированной стали.

Выбор слоистых композиционных материалов, работающих в условиях горячей газовой эрозии и высоких давлений

Рафальский И. В., Жук А. Е., Жук К. А.

Белорусский национальный технический университет

Создание нового класса эрозионностойких слоистых композиционных материалов (КМ) требует оценки существующих и разработки новых показателей работоспособности, обеспечивающих прогнозирование поведения материала в изделии в реальных условиях эксплуатации. Критерии статической прочности характеризуют определенные свойства материала и не позволяют судить о структурном состоянии и свойствах локальных объемов металла. Эрозионная стойкость оценивается, как способность сопротивляться поверхностному разрушению и измеряется, например, для трубных изделий диаметральной износом рабочих поверхностей, либо по потере массы металла в процессе эксплуатации. Следует отметить, что большинство биметаллических пар имеют разницу в физико-механических свойствах. Анализ результатов исследований КМ показывает, что значения J -интеграла в КМ отличаются от величин компонентов композиции.

Для оценки разрушения слоистой композиции недостаточно исследование разрушения каждой из компонент композиции, а необходимо исследование композиции как качественно нового материала со своими специфическими свойствами, обусловленными особенностями получения и состава.

Исходя из требований ASTM назначали условия испытаний и размеры образцов с оценкой, в каких условиях осуществляется нагрузка на зону соединения. Сравнивали глубину надреза l и толщину плакированного слоя, который определяется высотой h . Размеры образцов идентичны, а толщина плакируемого слоя у каждого сплава своя и связана с механической обработкой при изготовлении образцов. Для эрозионностойких пластичных сплавов (кобальтового ЭП 131 и ниобиевого) предусматривалась радиальная ковка для получения направляющих канавок. Толщина плакируемого пластичного слоя должна быть больше, чем у хрупкого, который ковке не подвергается. Для молибденового сплава МТ определялось значение J -интеграла при размерах $h = 2,635$, $l = 2,487$ мм, т.е. для случая, когда расстояние от вершины трещины до зоны соединения составляло 0,168 мм, что недостаточно.

В этом случае J интеграл равный 3601 МПа·м^{0,5} не отвечает за вязкость разрушения биметалла, а определяет прочность связи слоистого материала σ_w . Макро- и микроскопический уровень исследований процесса разрушения рассматривает количественную оценку сопротивления разрушению по микроструктурному анализу с учетом влияние зоны пластической деформации у вершины трещины.

Машины и технология литейного производства

**Ультрадисперсные частицы для модифицирования
высокотемпературных расплавов**

Рудницкий Ф. И., Куликов С. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время утилизация дисперсных отходов представляет собой определенную проблему. Примерами таких отходов могут служить металлообразивный шлак, скапливающийся на площадях механических цехов, отсев дробы дробебетных камер обрубных участков.

Основным препятствием для переработки указанных материалов в собственном производстве является недоверие производственного персонала к модификаторам подобного рода. Действительно, применение высокодисперсных порошков для модифицирования высокотемпературных расплавов сопряжено с многочисленными ограничениями, в т.ч. по охране труда. Модифицирование расплава чугуна или стали, к примеру, железными окатышами с размером гранул 10-15 мм не вызывает каких-либо трудностей. Но применение металлического порошка с размером частицы 100-200 нм уже пожароопасно, т.к. порошок железа интенсивно окисляется. Введение в расплав ультрадисперсных порошков сопровождается выбросом частиц в атмосферу участка, что обуславливает повышенные требования к вентиляции. Зачастую, введение ультрадисперсных частиц сопровождается усиленным шлакообразованием.

Однако применение дисперсных систем обладает рядом преимуществ: это возможность переработки собственных отходов и повышение механических свойств материала выпускаемого литья. Так же, применение данных материалов позволяет значительно снизить количество вводимых модификаторов. Указанные преимущества позволяют снизить себестоимость продукции, что в условиях рынка весьма актуально.

Как было показано [1], применение УДМ возможно путем прямого ввода в расплав чугуна. Основной задачей при этом является изыскание оптимального способа и количества материала.

Таким образом, введение ультрадисперсных добавок, как и модификаторов других видов несмотря на появление ряда определенных технологических проблем, позволяет существенно повысить качество выпускаемой продукции при уменьшении ее стоимости.

Неорганические модификаторы для жидкостекольного связующего

Крутилин А. Н., Гуминский Ю. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Интенсивное развитие отраслей народного хозяйства предъявляет повышенные требования к литейному производству в части совершенствования существующих технологических процессов производства. При внедрении процессов в литейном производстве основное внимание необходимо уделять вопросам технологичности, экономичности и экологической безопасности.

Жидкостекольные смеси являются универсальными для любых видов литья металлов и сплавов, они экологически чисты, не содержат дорогих и дефицитных компонентов. Сдерживающим фактором более широкого использования жидкостекольных смесей является их затрудненная выбиваемость, гигроскопичность, повышенная осыпаемость смесей, проблемы, связанные с регенерацией смесей.

Наиболее простым способом улучшения технологических свойств жидкостекольных смесей является введение в их состав различных модифицирующих добавок органического и неорганического происхождения, а также комплексных модификаторов на их основе. Предлагаемые добавки, при минимальном содержании связующего, должны обеспечивать упрочнение смеси в холодном состоянии и ее разупрочнение после высокотемпературного воздействия.

Неорганические добавки характеризуются высокой поверхностной активностью к силикатам и оказывают влияние на процессы, протекающие при нагревании смесей в высокотемпературной области. Среди неорганических добавок для улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей нашли применение глина, мел, зола торфа, доменные шлаки, вспученный перлит и т. д., которые связывают щелочные силикаты и образуют с Na_2O и SiO_2 тройные системы с высокой температурой плавления.

Большую группу неорганических модификаторов представляют фосфорсодержащие материалы. Механизм их действия на силикатные связующие материалы связан с образованием устойчивой однородной системы неорганических полимеров с высокой степенью дисперсности и плотности структурных агрегатов, при высоких температурах происходит образование фаз, препятствующих спеканию смесей.

Предлагаемые рекомендации часто носят противоречивый характер, что указывает на недостаточную изученность процесса и необходимость проведения систематизированных исследований с целью поиска новых технологических решений данной проблемы.

**Анализ влияния физических методов воздействия на структуру
и свойства жидкостекольных смесей**

Крутилин А. Н., Гуминский Ю. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Известные на сегодняшний день технологические приемы, используемые для изготовления высококачественных отливок в условиях массового производства в полной мере, не удовлетворяют требованиям производства из-за присущих им специфических недостатков.

Физические методы воздействия на связующее, пока не получили широкое практическое применение, в первую очередь из-за невысокой стабильности положительного эффекта обработки. Наиболее перспективным направлением в технологических процессах изготовления форм и стержней из жидкостекольных смесей являются комбинированные способы упрочняющей обработки.

Комбинированные способы упрочнения жидкостекольных смесей, как правило, сочетают химическое упрочнение, например, продувку стержня углекислым газом и упрочнение тепловой обработкой.

Комплексное воздействие на жидкостекольные смеси путем совмещения теплового воздействия продувкой подогретым воздухом для нагрева смеси и продувки углекислым газом, с целью ускорения отверждения, на первый взгляд представляется очевидным решением, однако это ведет к резкому повышению скорости упрочнения.

Для обеспечения низкой гигроскопичности и высокой поверхностной прочности необходимо обеспечить смачивание зерен наполнителя связующим, вакуумирование позволяет снизить количество жидкого стекла в смеси за счет изменения поверхностного натяжения наполнителя и связующего.

Процесс СВЧ сушки определяется совокупностью процессов тепло- и массопереноса при изменении агрегатного состояния. СВЧ нагрев не связан с передачей теплоты в форме, скорость и температура нагрева зависят от диэлектрической проницаемости смеси, частоты и мощности источника излучения. Необходимо отметить, что сушка СВЧ – излучением позволяет снизить количество связующего в смеси, значительно сократить время отверждения смеси в оснатеке.

Для реализации различных способов комбинированного упрочнения необходимо детальное теоретическое обоснование предлагаемых решений и проведение экспериментальных исследований с целью определения оптимальных технологических параметров процесса.

Проектирование кокилей

Скворцов В. А.

Белорусский национальный технический университет

Кокильное литье, или литье в постоянные формы, – это литье металла, осуществляемое свободной заливкой. Кокиль – металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, заполняемая расплавленным металлом под действием гравитационных сил.

Кокиль представляет собой форму многоразового использования. Поскольку металлические материалы значительно отличаются по своим свойствам от неметаллических формовочных материалов (большей теплопроводностью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью, газотворностью и др.), то в кокиле создаются особые условия формирования отливок.

Важным элементом кокиля является защитное покрытие его рабочей поверхности, которое уменьшает интенсивность теплообмена между отливкой и формой, снижает термические напряжения в стенке формы, предохраняет ее от эрозионного разрушения. Покрытие создает в форме определенную газовую атмосферу, обеспечивает в некоторых случаях поверхностное модифицирование и легирование отливки, изменяет газопроницаемость вентиляционных устройств, а также воздействует на силу трения между отливкой и кокилем.

В процессе термического и механического взаимодействия между отливкой и кокилем нередко возникает большой или меньший газовый зазор. Его влияние в термическом отношении аналогично влиянию защитного покрытия.

Все выше сказанное накладывает свои особые требования к проектированию кокильной оснастки. При проектировании рекомендуется пользоваться действующими стандартами, отражающими как конструкцию кокиля в целом, так и его отдельных частей и приспособлений. Существующие стандарты ГОСТ 16234–70 – ГОСТ 16262–70 содержат правила конструирования вытряхных и разъемных кокилей, а также приспособлений для центрирования, скрепления отдельных частей кокиля, устройства для извлечения металлических стержней с конструкцией деталей входящих в их состав и приведены все необходимые размеры для их проектирования. Представлены механизмы выталкивания отливок из кокиля, которые применяются в разъемных и неразъемных кокилях и приведены их размеры.

Новая инструментальная сталь 5X5H2MФC для высокоресурсного литого инструмента холодной деформации

Федулов В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Сложнолегированная сталь 5X5H2MФC (табл. 1 и 2) предназначена для изготовления высокоресурсных литых штампов холодного формообразования изделий сложной конфигурации из твердых сталей и сплавов, когда их эксплуатация происходит под воздействием значительных деформаций сжатия и разогрева. После закалки от температуры 1150 °С на масло в литой микроструктуре стали присутствуют дендриты с мартенситным строением и междендритная феррит образная светлая супер составляющая, высокообогащенная никелем, хромом, молибденом и ванадием.

Высокий отпуск при 525-550 °С, 2 ч, обеспечивает эффективное вторичное твердение с образованием карбида M_2C в закаленной микроструктуре и высокие значения твердости и теплостойкости междендритной супер составляющей и мартенсит образной дендритной фазы, где наряду с высокой твердостью имеется достаточный запас пластичности. Возможно проведение дополнительной операции карбонитрирования из обмазки рабочих поверхностей штампов при температуре 520 °С в течение 2-4 ч.

Отпуск при 200 °С в течение 3 ч также может быть использован при упрочнении такой литой стали. Высокий ресурс инструмента обеспечивается за счет присутствия в микроструктуре супер износостойкой светлой составляющей и теплостойкой и пластичной её дендритной матрицы: мартенсита отпуска, из-за присутствия перед закалкой в исходном гамма-твердом растворе легирующих элементов в достаточном количестве.

Таблица 1

Химический состав стали

№ п. п.	Содержание легирующих элементов, мас.%							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Fe
1	0,45	1,2	0,6	5,0	2,0	1,2	1,1	88,01
2	0,55	0,9	0,9	5,5	3,0	0,7	0,3	88,15
3	0,60	0,6	0,3	4,5	1,5	1,5	0,9	90,10

Таблица 2

Твердость стали после упрочнения

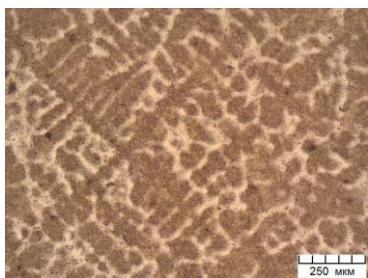
№ п. п.	Значение твердости после закалки от 1150 °С в масле и отпуска	
	525-550 °С, 2 ч	200 °С, 3 ч
1	59-60	58-59
2	59-60	59-60
3	59-60	59-60

УДК 621.76

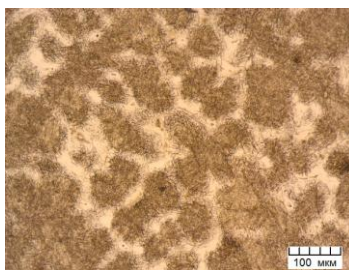
Структура литой инструментальной стали 4X5MФ1С с добавлением никеля

Федулов В. Н.

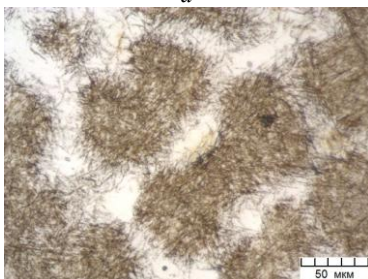
Белорусский национальный технический университет



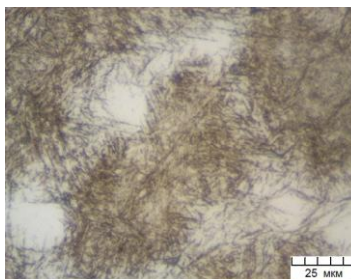
a



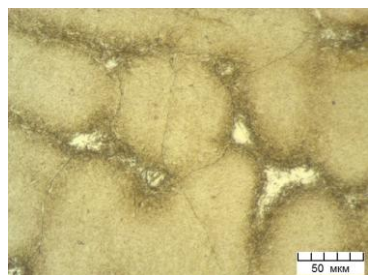
б



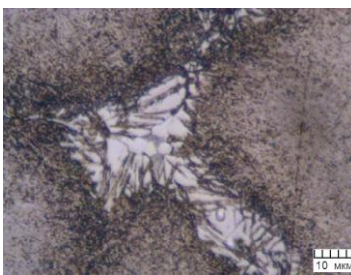
в



г



д



е

Микроструктура образца литой стали 45X5H3MФC с содержанием никеля 3 %
(отливка, литье в форму из ХТС) после закалки от 1150 °С в масле и отпуска:

в, г – 550 °С, 2 ч, твердость: HRC 59-60

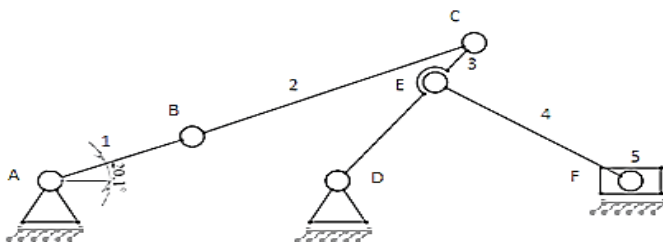
д, е – 650 °С, 2 ч, твердость: HRC 46-47

Кинематический анализ шарнирно-рычажных плоских механизмов с использованием программы SOLIDWORKS

Одиночко В. Ф.

Белорусский национальный технический университет

Кинематический анализ начинается с построения плана механизма в программе SOLIDWORKS по исходным данным в произвольно выбранном масштабе с использованием блоков. Под блоками подразумеваются звенья механизма. Целесообразно план механизма изображать для положения кривошипа 1 соответствующего крайнему положению выходного звена (ползуна 5), в котором его скорость равна нулю (рисунок).



План механизма

При построении плана механизма можно учесть массы звеньев и положения центров их тяжести, а также с помощью функции «Сила» нужно приложить полезную нагрузку к выходному звену.

Затем подключается функция SOLIDWORKS Motion. Для создания анимации механизма в открывшемся окне диалога *Анализ движения* задаются исходные данные: число оборотов кривошипа, полезная нагрузка, притяжение (ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с). В процессе моделирования движения механизма с помощью функции SOLIDWORKS Motion строятся графики скоростей и ускорений выходного звена (ползуна 5) в зависимости от угла поворота начального звена (кривошипа 1).

Технологические особенности получения силицидов для изготовления катодов-мишеней для нанесения покрытий изделий в вакууме

Иванов И. А., Ковалевич Э. В., Слущкий А. Г.
Белорусский национальный технический университет

Вакуумно-плазменные технологии широко используются для модификации поверхности сталей и сплавов в том числе медицинского назначения, создание пленочных наноструктурных материалов, синтеза новых материалов и химических соединений, для образования которых традиционными методами требуются высокие температуры и давление.

Получение силицидов тугоплавких металлов требует дополнительных мероприятий, которые позволят инициировать восстановительную плавку, обеспечивающую стабильность процесса и получение качественной отливки катодов.

Выполнены расчеты восстановительной плавки и подобраны составы, которые представлены в работе [1]. Экспериментальным путем установлена возможность получения силицидов различным содержанием металлов (медь, никель, титан). Основными недостатками стали образование усачных раковин и высокая пористость.

Использование индукционной плавки силицидов позволяет устранить ряд недостатков. При использовании установки индукционного нагрева можно получать сложнелегированные катоды-мишени из сплавов Me-Si, предварительно полученных металлотермией. По данной методике можно получать силициды из различных сплавов. Для обеспечения качества получаемого слитка, плавку осуществляли в нейтральной атмосфере, используя аргон. Температура нагрева индуктора регулируется в процессе работы. В процессе плавки образуется жидкий силицид и шлаковая фаза. Полученные силициды имеют однородную плотную структуру. Химический анализ выявил примеси. Поры на образцах, свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования технологии получения силицидов.

Изготовление литейной оснастки из пластполимерных материалов

Нелюб И. А, Насевич И. С.

УП «Технолит» («Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»)

УП «Технолит» уже 20 лет занимается изготовлением литейной оснастки из пластполимерных материалов. За прошедшее время сотрудники предприятия накопили большой опыт работы с пластполимерами, изготовлены десятки модельных комплектов, новая технология внедрена на ряде предприятий Беларуси и Российской Федерации.

Можно выделить два основных направления изготовления оснастки с применением пластполимерных материалов: изготовление оснастки из модельных блоков с различными технологическими и эксплуатационными свойствами и изготовление оснастки с применением двухкомпонентных материалов широкого спектра действия. Технология производства оснастки из блочных материалов, практически не отличается от изготовления ее традиционными способами из металла и дерева. Технологический процесс изготовления модельной оснастки из двухкомпонентных пластполимеров включает в себя три основных этапа:

- изготовление модели-эталона или мастер-модели;
- изготовление негатива или промодели;
- изготовление моделей, модельных комплектов, стержневых ящиков.

При применении специально разработанных гелкоутов с высокими абразивными свойствами может быть исключен этап изготовления промодели: сразу изготавливаются модели, усиленные внутренним каркасом, либо стержневые ящики.

Применение современных пластполимеров позволяет получить ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными широко используемыми в литейном производстве материалами:

- возможность тиражирования по одной мастер-модели целого ряда модельных комплектов с абсолютно точным воспроизведением эталона;
- изготовление модельных комплектов в кратчайшие сроки (при имеющемся эталоне - за 2-5 дней);
- высокая абразивная и износостойкость, не уступающие стальным моделям (до 100 000 съемов), высокая коррозионная стойкость, абсолютная гидрофобность;
- минимальное усилие съема при формовке, благодаря уникальным антифрикционным и противoadгезионным свойствам пластполимеров, что позволяет свести к минимуму необходимость использования разделительных покрытий как при формовке по-сырому, так и при изготовлении холднотвердеющих стержней.

Исследование дисперсных свинецсодержащих отходов

Ровин С. Л., Григорьев С. В.

Белорусский национальный технический университет

В Беларуси ежегодно образуется около 30 000 т отходов цветных металлов, в том числе: до 10 000 т алюминиевых, около 5000 медных, 13 000-15 000 т свинецсодержащих. Отходы остальных цветных металлов и сплавов не превышают 1000 т в год.

Наименее исследованными и наиболее опасными среди них с точки зрения воздействия на человека и окружающую среду являются свинецсодержащие отходы, которые относятся к токсичным веществам I класса опасности. Основным их источником являются отработавшие свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (АКБ), в которых содержится до 60-65 % свинца в виде оксидно-сульфатной пасты и металлических частей. Помимо аккумуляторного лома весомым источником свинца являются собственные отходы заводов его производящих: аспирационные пыли и шлаки, образующиеся при рафинировании, которые составляют до 15 % от объема производства свинца. Основным способом извлечения свинца из его соединений во вторичной металлургии сегодня является восстановительная плавка в ротационных печах. Как правило, различные отходы производства свинца подмешиваются к аккумуляторной пасте и переплавляются при идентичных технологических режимах.

Исследования выявили значительные различия в составе образующихся отходов (таблица), что говорит о целесообразности дифференцированного подхода к их переработке.

Название материала	Элементный состав, %											
	C	O	Na	Si	S	Cl	Ca	Fe	Cu	Sn	Sb	Pb
Паста АКБ	-	19,90	-	-	8,96	-	1,39	-	-	-	-	69,23
Пыль ротац. печи	7,10	10,21	1,71	0,68	8,37	0,48	-	0,78	-	-	-	70,52
Пыль рафкотлов	0,73	11,98	2,29	0,33	5,02	-	-	1,29	-	6,76	4,53	65,56
Черные съемы	0,15	15,38	-	0,76	9,65	-	-	2,06	0,46	7,81	2,87	60,18
Желтые съемы	0,19	11,49	4,59	-	1,57	0,51	0,56	-	-	0,75	8,17	71,92

Так расчеты показывают, что значительное содержание натрия при относительно небольших количествах серы в шлаке, образующемся при вторичном рафинировании (в т.н. желтых съемах), и аспирационной пыли рафкотлов позволяют в 2-е снизить удельный расход кальцинированной соды и на 15-20 % сократить время восстановления при проведении раздельной плавки указанных материалов.

Технология и оборудование для создания безотходного оборота металла на машиностроительных предприятиях

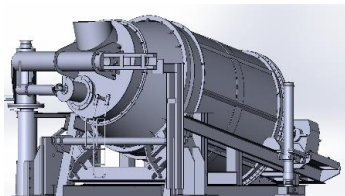
¹Ровин С. Л., ²Ровин Л. Е.

¹Белорусский национальный технический университет,

²Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

Машиностроительные предприятия, их литейное, термическое и металлообрабатывающее производство, являются источником большого количества разнородных металлоотходов, львиную долю которых составляют дисперсные отходы, содержащие железо: стружка, мелкий скрап, окалина, шламы, аспирационная пыль плавильных и механических участков и т. д. При этом только кусковой лом (бракованные детали и отливки, литниково-питающие системы и т. п.) и в определенной степени (55-60 %) стружка и скрап возвращаются в производство. Что же касается оксидных и многокомпонентных металлоотходов, то сегодня все они, практически в полном объеме, остаются в отвалах предприятий, создавая серьезную экологическую проблему.

Эффективным способом решения этой проблемы является новая технология малотоннажного рециклинга железосодержащих отходов в ротационных наклоняющихся печах (РНП). Технология основана на непрерывном интенсивном процессе твердо-жидкофазного восстановления оксидных и многокомпонентных дисперсных отходов в динамическом продуваемом слое без их предварительной подготовки и окомкования с получением в результате чугуновых или стальных слитков или литейных сплавов.



Разработаны новые конструкции РНП с управляемым вектором потока газов-теплоносителей, обеспечивающие гибкий режим термообработки, безокислительный интенсивный нагрев, высокие скорости восстановления и расплавления дисперсных материалов, устойчивую работу при знакопеременных динамических нагрузках, 2-кратное сокращение пылеуноса и повышение термического КПД до 50-55 %, позволяющие осуществить рентабельный малотоннажный рециклинг разнородных дисперсных отходов черных и цветных сплавов.

Новая технология открывает возможность создания собственной сырьевой базы для литейного производства, позволяет значительно сократить импорт дорогостоящих шихтовых материалов и металлов, организовать безотходную систему металлооборота на машиностроительных предприятиях, улучшить экологическую обстановку, снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность продукции.

**Порошковая металлургия,
сварка
и технология материалов**

Затвердевание горизонтальной отливки в условиях неравномерного теплообмена

Демченко Е. Б.

Белорусский национальный технический университет

В самом, пожалуй, сложном случае, когда теплота перегрева распределяется неравномерно по периметру отливки, картина процесса затвердевания в корне меняется. Это касается процессов вертикального литья с открытым уровнем и горизонтального литья, где специфические условия технологии не позволяют реализовать симметричный или равномерный по периметру подвод расплава в кристаллизатор. Несимметричность фронта кристаллизации, вызванная неравномерным распределением перегрева расплава, способствует формированию неравномерной усадки отливки и образованию неравномерного газового зазора. Возникают явления запаздывания затвердевания и смещения теплового центра отливки, что весьма негативно сказывается на характере процесса формирования и её качестве (овальность, разнотолщинность, физическая и химическая неоднородность по сечению и длине). Движущей силой этих явлений считаются струя расплава и возникающие при этом мощные конвективные потоки. При горизонтальном литье (без разделительного устройства) потоки перегретого расплава настолько мощны, что их размывающее действие сказывается на всей длине фронта затвердевания вдоль верхней образующей отливки. Управлять поведением теплоты перегрева, вызванным неравномерным распределением можно двумя способами.

Первый способ предусматривает учёт неравномерного распределения теплоты перегрева через решение задач затвердевания отливки. Для этого в задачах предусматривается введение безразмерных критериев учитывающих неравномерное распределение теплоты перегрева расплава. Такой расчёт позволяет определить параметры литья, когда сосредоточение перегрева расплава в месте подвода уже будет учтено.

Второй способ предусматривает использование технологических приёмов. К ним можно отнести способы заливки расплава в две и более точки, применение разделительных устройств (технологическая схема остаётся без изменения), что позволяет не только снизить влияние перегрева, но и существенно уменьшить величину смещения теплового центра горизонтальной отливки. Эти приёмы обеспечивают более равномерное распределение перегрева расплава по периметру кристаллизатора, либо вовсе убирают её влияние, ограничивая проникновение струи расплава в полость отливки.

**Свойства материалов переходников для контактной сварки
разнородных материалов**

Демченко Е. Б.

Белорусский национальный технический университет

Основными проблемами, возникающими при сварке разнородных материалов, являются металлургическая совместимость и существенное различие в физико-химических свойствах (температуры плавления и кипения, коэффициенты линейного расширения, тепло- и электропроводности и др.).

Решающее влияние на свариваемость разнородных металлов оказывает металлургическая совместимость, определяющаяся взаимной растворимостью соединяемых металлов, как в жидком, так и в твёрдом состоянии и образованием хрупких химических соединений интерметаллидов. Сварка затруднена при большом различии температур плавления и кипения. Практически не свариваются плавлением металлы и сплавы, взаимно нерастворимые в жидком состоянии (пары свинец и медь, железо и магний, железо и свинец и др.). При их плавлении образуются несмешивающиеся слои, которые при последующем затвердевании могут быть сравнительно легко отделены друг от друга. Легко образуют сварные соединения металлы и сплавы, в состав которых входят элементы, обладающие неограниченной взаимной растворимостью и образующие непрерывный ряд твёрдых растворов. При сварке разнородных металлов с ограниченной растворимостью или сплавов, содержащих ограниченно растворимые легирующие элементы, качество соединения зависит от процесса образования внутрикристаллической ликвации в процессе первичной кристаллизации металла шва и характера последующих фазовых и структурных превращений в нём в твёрдом состоянии. Поэтому для сварки применяют промежуточные прокладки из металлов, обладающих неограниченной взаимной растворимостью с элементами свариваемых сплавов. При сварке разнородных металлов существенное влияние на напряженное состояние оказывает различие в коэффициентах линейного расширения. Более высокому предварительному нагреву подвергают материал с меньшим коэффициентом линейного расширения. При сварке физический контакт и химическое взаимодействие между деталями осуществляются быстро. Отчего при сварке материалов с ограниченной взаимной растворимостью в твёрдом состоянии в месте контакта легко создаются хрупкие интерметаллические прослойки. Образование этих прослоек протекает за определенный промежуток времени и достигается использованием источников сварочного нагрева с очень высокой концентрацией энергии.

Технология получения высокоплотных деталей из порошковых низколегированных сталей

Демьянчик Г. А., Горохов В. М., Киреев П. Н., Голубцова Е. С.
Белорусский национальный технический университет¹
ГНУ «Институт порошковой металлургии»

Порошковые низколегированные стали являются труднодеформируемыми и даже полухрупкими сплавами. Плотность изделий из таких сталей не превышает $\sim 7,20 \text{ г/см}^3$, что недостаточно для конструкционных деталей, которые в процессе эксплуатации испытывают высокие знакопеременные и контактно-усталостные нагрузки. Методами повышения пластичности и улучшения механических свойств подобных материалов являются регулирование химического состава и управление фазовым составом и структурой, получаемыми при определенных режимах термовременной обработки порошковых заготовок.

Рассматривались порошковые низколегированные стали улучшаемого класса ПК40НМ и ПК40НМД, с содержанием каждого легирующего элемента (*Ni*, *Mo* и *Cu*) $< 1\%$. Исследовали кривые деформируемости выше-названных сталей с ИК-структурой, а также после стандартного спекания при температуре 1120-1130 °С в среде диссоциированного аммиака.

Установлено, что деформационное поведение порошковых низколегированных сталей ПК40НМ и ПК40НМД с ИК-структурой при испытаниях на сжатие не зависит от состава легирующих элементов и описывается единой кривой, а сопротивление пластической деформации у порошковых сталей с ИК-структурой при всех степенях пластической деформации \sim на 60 % ниже по сравнению с состоянием после стандартного спекания. Конечная плотность изделий из порошковых низколегированных сталей при деформировании заготовок с ИК-структурой в исследуемом диапазоне не зависит от исходной плотности.

Полученный результат имеет важное практическое значение, поскольку позволяет выполнять прессование порошковых заготовок при минимальных напряжениях порядка 45-50 кг/мм².

О внутренних напряжениях, индуцированных водородом в металлах

Гольцова М. В.

Белорусский национальный технический университет

Любые энергетические проекты предусматривают в том или ином виде использование термодинамически открытых систем Ме-Н, поэтому изучение взаимодействия водорода и его изотопов с металлами не теряет своей актуальности. При этом системы Ме-Н – уникальные физические объекты, которые состоят из двух атомных подсистем: водородной и металлической, различающихся по диффузионной подвижности больше чем в 10^{20} – 10^{30} раз, что выделяет их в особый ряд по сравнению с другими системами внедрения и обуславливает многие особенности и необычные физические явления.

Для изучения механических проявлений водородоупругости при одностороннем насыщении палладия водородом использовали палладиевую пластину размерами (68×5,5×0,27 мм). Методика подготовки образцов, экспериментальная установка ВВУ-4 и методика проведения экспериментов достаточно подробно описаны в обзорной работе по систематическим исследованиям формоизменения палладиевой пластины [1]. Было изучено коробление палладиевой пластины её одностороннем насыщении водородом при 240 °С и различных давлениях водорода от 0,03 до 0,43 МПа. Было установлено, что при водородном воздействии вначале пластина весьма быстро (9–20 с) достигает максимального изгиба, а затем – (более 120 с) пластина распрямляется практически полностью обратимо.

Исследования показали, что, при одностороннем наводороживании, палладиевая пластина демонстрирует полностью обратимые изгибы, по значениям стрелы прогиба значительно, в три раза, превосходящие упругие изгибы при обычном механическом нагружении пластины.

В докладе обсуждены возможные причины этого явления. Автор полагает, что основная причина заключается в том, что механизм изгиба палладиевой пластины при водородном нагружении принципиально отличен от такового при механическом нагружении: оно всегда реализуется через образование и развитие временного градиентного материала металл-водород, что и обеспечивает упругий прогиб пластины, гораздо более сильный, нежели при обычном механическом нагружении.

Микроструктура и свойства композиционных электрохимических покрытий никель-железо-углерод

Якубовская С. В., Корбит А. А., Жердецкий А. Д.
Белорусский национальный технический университет

Эксплуатационные показатели деталей, узлов машин и механизмов в значительной степени определяются прочностными характеристиками поверхностных слоев. Повышение прочностных, физико-механических характеристик поверхностных слоев обеспечивается различными методами обработки поверхности, в том числе, нанесением композиционных электрохимических покрытий (КЭП).

Целью настоящей работы являлось исследование влияния условий электролиза, термообработки на микроструктуру и микротвердость КЭП никель-железо-углерод (Ni-Fe-C). Электрохимическое осаждение покрытий проводили из электролитов-расплавов на основе карбамида при стандартной схеме электролиза. Исследование микроструктуры поверхности покрытий осуществляли на растровом электронном микроскопе VEGA/TESCAN (Япония).

Показано, что микроструктура и содержание компонентов в покрытии Ni-Fe-C зависят от состава электролита (концентрации солей металлов) и плотности тока. Увеличение концентрации хлорида железа в электролите приводит к увеличению концентрации железа в покрытии и изменению микроструктуры: в покрытии появляются пленки углерода.

Увеличение плотности тока от 4 до 35 мА/см² сопровождается изменением микроструктуры покрытий Ni-Fe-C от однородной («твердый раствор» железа и углерода в никеле) до гетерогенной, представляющей собой никель-железный сплав, между зернами которого расположены частицы и пленки углерода. Увеличение плотности тока сопровождается повышением концентрации углерода в покрытии.

С повышением плотности тока (до 25 мА/см²) микротвердость покрытий возрастает, а затем при дальнейшем повышении плотности тока снижается. Показано, что несмотря на различия в составе термообработка покрытий Ni-Fe-C при 775 К не приводит к существенному изменению размеров зерен, что свидетельствует об устойчивости зеренной микроструктуры покрытий при отжиге.

Микротвердость покрытий с увеличением продолжительности отжига при 775 К до 2 ч повышается и в тем большей степени, чем выше концентрация железа в покрытии. При содержании железа 45 мас. % микротвердость покрытия Ni-Fe-C составляет 10,8 ГПа.

Порошки для магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей¹Филипчик А. В., ²Бабич В. Е., ²Лебедев В. Я.¹Белорусский национальный технологический университет²ФТИ НАН Беларуси

В качестве ферроабразивных порошков применяют достаточно большое количество материалов, которые имеют разные физические и специальные свойства. Однако развитой единой классификации магнитно-абразивных порошков не существует. Наиболее приемлемыми являются классификации по структуре частиц порошка и по способу их получения. В соответствии с этими подходами отдельно можно выделить магнитно-абразивный инструмент, который состоит из механических смесей (МС) магнитных и абразивных составляющих. В качестве магнитной составляющей чаще всего применяют порошки обычного или легированного железа, а также, специально для работы в переменных магнитных полях, – порошки магнитно твердых сплавов (*Fe-Ni-Al*, *Fe-Ni-Al-Co*, ферритов).

Абразивной составляющей в МС могут быть практически все известные абразивные материалы (алмаз, эльбор, корунд, карбид кремния, карбид бора). В магнитном поле происходит формирование магнитно-реологического инструмента. В результате возможно создание ФАП практически любой конфигурации с управляемой интегральной твердостью.

Исследования различных порошковых материалов для МАО показали, что эффективность обработки значительно зависит от формы зерен ферроабразивного порошка. При МАО большое значение на эффективность обработки оказывает не только материал порошка, но и состояние режущих кромок зерен ФАП. Основные геометрические параметры, определяющие режущую способность ферроабразивного зерна: форма зерен, число вершин (режущих кромок), углы при вершинах и радиусы округления вершин.

Таким образом, ранее проведенные исследования не содержат обоснованных рекомендаций по выбору ФАП для обработки сборных изделий, состоящего из элементов с различными физико-механическими и магнитными свойствами (для одновременной эффективной обработки конструкционных сталей 30ХГСА, 35ХГСА и твердых сплавов ВК8, ВК10, входящих в состав резца РКС-1. Одной из задач исследований было сравнение известных марок порошков и разработка рекомендаций по их выбору. На основании анализа существующих порошков для одновременной магнитно-абразивной обработки конструкционных сталей 30ХГСА, 35ХГСА и твердых сплавов ВК8, ВК10 выбраны следующие ФАП: TiC – Fe, Ферабраз-311, МАП АСМ (алмазосодержащий порошок), на основе стали Р6М5, Полимам-Г.

Перспективы развития электронно-лучевых аддитивных технологий в Беларуси

Поболь А. И., Бакиновский А. А.

Белорусский национальный технический университет

Физико-технический институт НАН Беларуси

С зарождением Индустрии 4.0 скорость развития новых и наукоемких технологий, в т.ч. аддитивных (АТ), стремительно возрастает. На данный момент уже разработано более 20 различных технологий аддитивного получения металлических изделий и идет их активное развитие. Большую долю R&D в этой сфере занимает оборудование на базе лазерных и электронно-лучевых (ЭЛ) источников тепла. Очевидным преимуществом ЭЛ источников являются расширенные возможности управления тепловложением в объем материала, а также применение вакуума – самой дешевой защитной технологической среды. Области применения АТ постоянно расширяются, но уже сейчас очевидно их превосходство по ряду направлений медицинской и авиакосмической тематики (титановые имплантаты, детали турбин, двигателей из никелевых жаропрочных сплавов и др.). Согласно классификации по ключевой технологии, принято различать селективный синтез (bed deposition) и непосредственное осаждение (direct deposition), а по виду применяемого материала их разделяют на порошковые и проволочные. Достаточно очевидно, что деталлизация получаемых изделий ограничивается размером и дисперсностью исходного материала. Перспективными видятся гибридные машины типа INTEGREX i-400AM фирмы MAZAK (США), сочетающие АТ и вычитающие возможности обрабатывающего центра. Однако порошковые технологии отличаются повышенной себестоимостью за счет дороговизны сырья и более высокого buy-to-fly ratio. Проволочные технологии, обладая более высокой производительностью, находят свое применение для изготовления крупногабаритных деталей сложной геометрии типа штампов, единичных деталей космических аппаратов и т. д. На данный момент комбинирование проволочных и порошковых технологий может обеспечить синергетический эффект от использования АТ.

Для Беларуси это новое направление, требующее грамотного определения вектора развития. Кроме государственного финансирования в достаточно крупных размерах, необходима настояющая заинтересованность специалистов предприятий в поиске современных решений применения АТ, что на начальном этапе может быть решено организацией серии семинаров. Одним из ключевых моментов является открытие специальности «АТ» на базе ведущего технического вуза страны – БНТУ.

Анализ современных методов неразрушающего контроля толщины и сцепляемости покрытий

Захаренко В. В.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день одной из основных задач промышленной отрасли является повышение качества и надежности выпускаемой продукции, т. к. аварии, возникающие в результате выхода из строя ответственных деталей и узлов, могут приводить не только к огромным материальным потерям, но и человеческим жертвам. В последнее время широкое распространение в производстве получили различные многослойные конструкции, представляющие собой всевозможные комбинации неразъемно-соединенных между собой слоев (покрытий) из металлов и неметаллических материалов. Целью их нанесения является как улучшение поверхностных свойств основного материала, так и декоративная составляющая. Следует отметить, что современные технологии не гарантируют 100%-го отсутствия дефектов в нанесенных покрытиях, что, безусловно, снижает качество производимой продукции. Определение величины и характера образовавшихся дефектов осуществляется посредством разрушающих и (или) неразрушающих (НК) методов и средств контроля. Однако применение разрушающих методов является менее актуальным, т.к. их проведение является более ресурсоемким. В современном подходе оценки качества таких характеристик покрытия, как толщина и сцепляемость, наибольшее предпочтение отдается методам НК, которые эффективно заменяют разрушающие методы. Проводить оценку данных характеристик можно при помощи следующих разновидностей НК: *магнитного метода, метода вихревых токов, радиационного метода, термоэлектрического, акустического* и т. д. Контроль рассматриваемых характеристик покрытия с помощью НК основан на нахождении корреляции между значением толщины или прочности сцепления и некоторой физической характеристикой (электросопротивлением, магнитными свойствами, коэффициентом поглощения излучения и т. д.). Например, при проведении акустического контроля возможно определить зависимость толщины и (или) сцепляемости покрытий от коэффициента поглощения излучения, т. к. при прохождении через материалы различной плотности часть звуковых волн отражается от границы раздела «материал-покрытие».

В настоящее время разрабатывается методика использования акустического метода для оценки качества сцепляемости слоев (покрытий) с основой и определения их толщины после технологических процессов напыления и наплавки.

**Термодинамические характеристики многокомпонентных
аморфно-кристаллических сплавов на основе железа:
эксперимент и теория**

¹Горанский Г. Г., ²Хина Б. Б.

¹Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

²Физико-технический институт НАН Беларуси

Аморфные металлические сплавы обладают уникальным сочетанием механических и физических свойств и широко применяются в качестве материалов и покрытий, а также как прекурсоры для получения нано- и субмикроркристаллических материалов. Для анализа термической устойчивости многокомпонентных аморфных сплавов необходимо знать их термодинамические характеристики: интегральные (энергия Гиббса, энтальпия) и парциальные (химические потенциалы компонентов), которые в настоящее время исследованы недостаточно.

В данной работе с использованием электрохимического метода мгновенного фиксирования электродвижущей силы (МФЭДС) измерены разности химического потенциала элемента-основы (Fe) $\Delta\mu_{\text{Fe}}$ между чистым железом и многокомпонентными сплавами систем Fe-Si-B-Ni и Fe-Si-B-Ni-Co-Cr-Mo. Сплавы были получены закалкой из жидкого состояния (ЗЖС) и содержали дисперсные включения кристаллических фаз (интерметаллидов и боридов) в аморфной матрице. После ЗЖС сплавы подвергали атриторной обработке (АО) длительностью до 60 мин, при этом доля аморфной фазы возрастала от ≈ 80 до 98%. Для определения химического потенциала железа в многокомпонентной аморфной фазе $\mu_{\text{Fe}}^{(am)}$ из экспериментальных значений $\Delta\mu_{\text{Fe}}$, относящихся к многофазному аморфно-кристаллическому сплаву, разработана термодинамическая модель, которая основана на CALPHAD-подходе. Для оценки парциальной молярной энтальпии железа $h_{\text{Fe}}^{(am)}$ рассчитана интегральная энтропия аморфной фазы, которая, в отличие от кристаллических фаз, включает не только идеальную энтропию смешения, но и так называемую энтропию несоответствия по теории Mansoori et al.

В результате установлено, что с увеличением времени АО химический потенциал и парциальная молярная энтальпия железа в аморфной фазе снижаются, т.е. повышается ее термодинамическая устойчивость, что согласуется с данными дифференциального термического анализа. На основе современных теорий аморфного состояния сделан вывод о том, что полученные закономерности связаны с изменением атомно-кластерной структуры аморфной фазы под действием периодической пластической деформации при АО.

**Парциальные термодинамические характеристики элементов
в многокомпонентных аморфных сплавах:
сравнение различных теорий**

¹Хина Б. Б., ²Горанский Г. Г.

¹Физико-технический институт НАН Беларуси

²Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

В связи с получением новых многокомпонентных аморфных сплавов (металлических стекол), обладающих уникальными физическими и механическими свойствами, и расширением области их применения в промышленности возрастает необходимость теоретического анализа термодинамических характеристик таких сплавов. В настоящее время для оценки энтальпии аморфных фаз и концентрационной области их существования широко применяют полуэмпирическую модель Miedema. Однако устойчивость фаз определяется не энтальпией, а энергией Гиббса. Известна теория Shao, описывающая изменение энергии Гиббса при превращении переохлажденной жидкости l в аморфную фазу $\Delta G_{l \rightarrow am}$. Но обе эти теории ранее не использовались для теоретической оценки парциальных молярных величин компонентов аморфных фаз – химического потенциала μ_i и парциальной молярной энтальпии h_i . В данной работе предложена термодинамическая теория для определения величин μ_i и h_i компонентов аморфных фаз и проведено сравнений значений, полученных на основе моделей Miedema и Shao. Используются подходы современной вычислительной термодинамики, лежащие в основе CALPHAD-метода (расчет фазовых диаграмм) и базы данных SGTE (термодинамическое описание характеристик чистых веществ в различных фазовых состояниях). Учитывается так называемая энтропия несоответствия атомных размеров по теории Mansoori et al, т. е. избыточная энтропия смешения, присущая только аморфному состоянию. Полученная модель использована также для сравнения теоретических значений парциальных термодинамических характеристик железа с данными, полученными из электрохимических измерений методом мгновенного фиксирования электродвижущей силы (МФЭДС), в многокомпонентных сплавах систем Fe-Si-B-Ni и Fe-Si-B-Ni-Co-Cr-Mo.

Показано, что модели Miedema и Shao дают близкие значения интегральных термодинамических параметров аморфных фаз, но сильно различающиеся значения парциальных величин μ_i и h_i . Значения μ_{Fe} и h_{Fe} в многокомпонентных аморфных фазах, полученных из обеих моделей, сильно отличаются от данных МФЭДС, что связано со структурой самих моделей. Тем самым определены фундаментальные недостатки существующих термодинамических теорий аморфного состояния.

Влияние режимов газодинамического напыления на механические свойства алюминиевых покрытий

Ваганов В. В.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

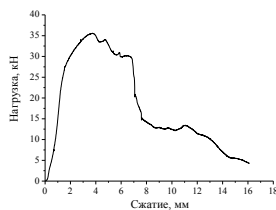
Цель работы – оценка степени адгезии и твердости алюминиевых покрытий, нанесенных холодным газодинамическим напылением.

Алюминиевые порошки марок А-10-01, А-20-01, А-30-01 напылялись на стальную основу (Сталь 30) на установке ДИМЕТ-405. Температуры потока воздуха на расстоянии 10 мм от среза сопла СНК-6 на различных режимах приведены в табл. 1, диаграммы нагрузка-деформация при испытаниях адгезии покрытий, представлены на рисунке. Значения адгезии покрытий, их твердости, критической деформации переходной зоны с покрытием до разрушения ϵ_k , пористости сведены в табл. 2.

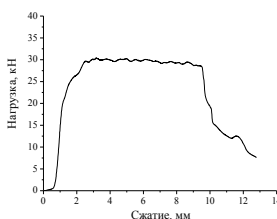
Таблица 1

Температуры динамического потока воздуха

№ режима	1	2	3	4	5
Температура °С	140...165	235...245	315...340	390...415	495...510



алюминий А-10-01



алюминий А-30-01

Диаграммы нагрузка-деформация при оценке адгезии
газодинамических покрытий

Таблица 2

Механические свойства алюминиевых покрытий (толщина 10-18 мкм)

	Марка порошка								
	А-10-01			А-20-01			А-30-01		
№ режима	2	3	4	2	3	4	2	3	4
Адгезия, МПа	85	118	92	89	122	90	80	118	72
Твердость, МПа	980-1140	890-1010	720-780	940-1100	860-940	660-690	880-1020	810-880	600-640
ϵ_k, %	28	32	39	34	37	42	41	46	46
Пористость, %	0-2	0-2	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1

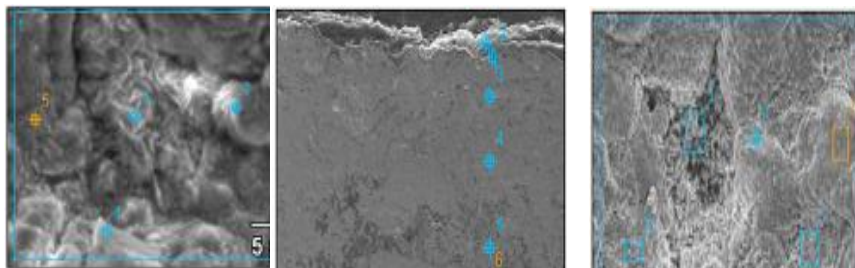
Оценка строения и свойств алюминиевых покрытий, полученных холодным газодинамическим напылением

Ваганов В. В.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

В беспористой однородной структуре покрытия (рисунок) отсутствуют окисленные по границам зерна металла, т.к. в состав напыляемой Al шихты введены частицы корунда Al_2O_3 (до 20 %). При ударе о покрытие в момент напыления они сбивают образовавшиеся пленки окислов Al_2O_3 , обеспечивая высокую степень адгезии и когезии. Часть частиц Al_2O_3 не улетает из зоны напыления, «завариваясь» в алюминиевой матрице и способствуя повышению твердости покрытия.

Изменение числа циклов (времени) напыления ведет к росту толщины напыляемого слоя для всех технологических режимов. Это сказывается на снижении прочности адгезии и вязкости покрытия (таблица).



Морфология поверхности покрытия (а), структура покрытия (б), включения Al_2O_3 в покрытие (в)

Таблица

Механические свойства алюминиевых покрытий

Порошок А-20-01, режим 3	Цикл напыления		
	8	16	24
Толщина, мкм	18	56	81
Адгезия, МПа	122	104	92
Твердость, МПа	940-1100	860-940	860-940
ϵ_k , %	42	37	29
Пористость, %	0-1	0-3	0-3

Структура и свойства покрытий управляемы варьированием состава Al порошка, температурным режимом и числом циклов напыления.

**Инженерия поверхности износостойких слоев и покрытий,
полученных с помощью высокоэнергетического воздействия**¹Асташинский В. М., ²Пантелеенко Ф. И., ²Специан М. В.,²Марукович Д. А., ²Мамонов А. М., ²Гришанов М.Я.¹Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова²Белорусский национальный технический университет

В последнее время в мире начали активно исследовать и использовать тепловые воздействия мощными высококонцентрированными источниками энергии на поверхность стальных и чугунных изделий. Цель этих исследований – придание поверхности изделий максимальной твердости и износостойкости. Такими источниками, в особенности плазменными и лазерными, достигаются рекордно высокие уровни концентрации энергии. Изучение имеющихся работ по лазерно-плазменной модификации показывает, что наиболее существенное упрочнение поверхности (в два раза и больше), обусловленное образованием высокодисперсной ячеистой микроструктуры с минимальным размером ячеек, наблюдается для высокоуглеродистых сталей (типа У8 и 65Г), феррито-мартенситных сталей (например, Х13М2БФР), а также сложнелегированных аустенитных сталей, в исходной структуре которых имеются тугоплавкие первичные фазы (например, NbC и Nb(C, N) в стали Х16 Н15МЗБ).

Нами было проведено модифицирование сталей 12Х18Н9Т и 10Р6М5 на «мягких» режимах (не достигая оплавления) при токах 11-15 А, при помощи микроплазменной установки МПУ-4. Полученные результаты показали, что на нержавеющей стали аустенитного класса 12Х18Н9Т сколь-нибудь заметного изменения микроструктуры и микротвердости не выявлено. Это можно объяснить тем, что при модифицировании на мягких режимах, сталь в поверхности сохраняет однородную структуру пластичного аустенита вплоть до плавления, а быстропротекающий нагрев не вызывает протекание диффузионных процессов. Быстрое охлаждение фиксирует эту однородную структуру.

Таким образом, данные полученные для модифицированных сталей 12Х18Н9Т и 10Р6М5 указывают на сложный характер кристаллизации (не только ячеистый, но и ячеисто-дендритный) и свидетельствуют о необходимости более детальных дальнейших исследований структурных превращений, а также изучение влияния модифицирования в широком диапазоне.

Прочность литейных красок при высоких температурах

Комаров О. С., Урбанович Н. И.

Белорусский национальный технический университет

Прочность противопригарных покрытий стержней и реже, форм является важной характеристикой красок, применяемых в литейном производстве. Наиболее часто применяется способ оценки прочности по времени удаления слоя краски с поверхности стекла струей песка, падающего с определенной высоты на краску. Недостатком этого метода является невозможность его применения при высоких температурах.

Методика, предложенная в работе [1], основана на замере твердости краски после нагрева до высоких температур. По сравнению с первой методикой она позволяет проследить динамику изменения твердости после нагрева краски. При высоких температурах в случае применения неорганических связующих образуются легкоплавкие эвтектические системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$, которые при температурах заливки стали или чугуна находятся в жидком (или размягченном) состоянии. Прочность, измеренная после остывания нагретой до 1000-1400 °С краски, не дает реального представления о поведении краски в процессе заливки формы расплавленным металлом. Предлагается следующая методика измерения прочности краски при высоких температурах. Вначале изготавливаются тонкие пластинки из густой краски, после чего они укладываются в печь на две опоры и по мере достижения определенных температур. Производится определение усилия разрушения. Прибор для определения усилия разрушения пластинки основан на принципе работы пружинного динамометра, а величина напряжения в момент разрушения рассчитывается по методике [2]. Испытывали краску на дистенсилиманите, а в качестве связующего использовали алюминат натрия (6 %).

Испытания показали, что при исходном значении $\sigma_a = 4,5 \text{ кгс/см}^2$ прочность снижается до $2,5 \text{ кгс/см}^2$ при 400 °С и монотонно возрастает, достигая 5 кгс/см^2 при 1300 °С.

Легирование порошками сталей в твердом состоянии.

Яздани-Черати Дж. Х, Ушеренко Ю. С.

Процесс легирования сталей, обычно, рассматривается как введение легирующих элементов или ферросплавов в жидкий расплав. Известны методы ионного легирования стали заряженными частицами (ионы). При азотировании этим методом достигаются глубины в десятки – тысячи микрон. Прошивка металлов в твердом агрегатном состоянии на глубины в десятки – сотни миллиметров известна как «сверхглубокое» проникание (СГП). Такая прошивка ступками, состоящими из порошков фракции менее 200 мкм, реализуется при скоростях 300–16000 м/с. В природе СГП реализуется в околосемном или межпланетном пространстве при соударении с космическими аппаратами (КА). На Земле процессы легирования сталей в режиме СГП реализуют при скоростях 300–3000 м/с. Для этого используют взрывные ускорителя. Такой подход требует цехов, оснащенных специальными взрывными камерами. Это существенно удорожает технологию легирования сталей в твердом состоянии. Поэтому рассматривался вариант использования для объемного легирования так называемых пушечных ускорителей. Пушечные ускорители работают на основе широко применяемых пороховых зарядов с массой заряда 3–15 грамм. Совершенствование конструкции ускорителя этого типа может базироваться на опыте развития, т. н. автоматических пушек. Они получили широкое распространение во время после второй мировой войны. Был выполнен цикл экспериментов по апробации пушечных ускорителей для реализации эффектов сверхглубокого проникания порошковых материалов в сталь. В основу методики контроля легирования углеродистой стали в твердом агрегатном состоянии было положено использование маркерных материалов, которые заведомо отсутствуют в матричной стали. Целесообразно использовать в качестве маркерных материалов порошки свинца. На рис. 1 и 2 показано легирование стали 20 ступками свинцовых частиц и результаты последующего азотирования.



Рис. 1. Структура стали после легирования частицами свинца в режиме сверхглубокого проникания и последующего газового азотирования, $\times 10$



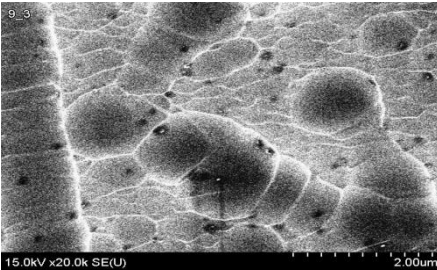
Рис. 2. Анализ стального образца свинцом и азотом по глубине

Выводы. Легирование стали в твердом агрегатном состоянии позволяет использовать для маркировки этого процесса порошковыми частицами Pb. Последующее азотирование не тормозится твердофазным легированием.

Прошивка алюминия сгустком частиц кремния

Ушеренко С. М., Караминадик Иман

В условиях открытого космоса наблюдаются соударения облаков космической пыли с защитными оболочками космических аппаратов (КА). Защитные оболочки КА выполняются из легких металлов и сплавов, например на основе алюминия. Оценка процесса проникания, в основном, производится на основе эффектов разгерметизации КА. Однако использование в качестве критерия проникания космической пыли через алюминиевую оболочку эффекта разгерметизации является ошибочной, так как в условиях прошивки металлическая оболочка находится в объемном напряженном состоянии. При этом в зоне прокола происходит захлопывание канальной зоны и утечка атмосферы КА прекращается.



Зоны пульсации при прошивке алюминия (А7) частицами SiC

Был рассмотрен эффект прокола микрочастицей металлической преграды на основе алюминия или его сплавов. На рисунке показана зоны прошивки, возникшие вокруг частиц карбида кремния в условиях нагружения преграды облаком высокоскоростных частиц.

Наличие участков пережатия в зонах прокола приводит к восстановлению герметичности защитной оболочки космического аппарата. Объяснить наблюдаемые при эксперименте эффекты можно только за счет реализации при соударениях сгустков частиц с переменной плотностью и скоростью с металлической защитной оболочкой пульсирующего поля давления. Тем не менее остаются под вопросом дополнительные поражающие возможности, которые могут быть реализованы за счет формирования при захлопывании проколов высокоскоростных струй. Также возможно интенсивное электромагнитное излучение, так как при интенсивном захлопывании за счет высокого импульсного давления реализуются потоки высокоплотной плазмы.

Выводы. В условиях динамического взаимодействия сгустков пылевых частиц с алюминиевыми защитными преградами формируются специфические условия, препятствующие процессу разгерметизации кабин космических аппаратов.

Технология получения раскислительно-модифицирующих композиций для стали

Проворова И. Б.

Белорусский национальный технический университет

При изготовлении отливок из сталей перед заливкой ее в формы проводят операцию раскисления. С целью измельчения зерна, повышения жидкотекучести расплава, улучшения формы неметаллических включений, повышения механических свойств проводят операцию модифицирования.

Предлагается создать на базе отсевов модификаторов, которые сложно ввести непосредственно в расплав, а время их действия минимально, и вторичного алюминия компактные раскислительно-модифицирующие композиции, где алюминий является одновременно раскислителем и связующим между отдельными частицами отсевов модификатора, тем самым будут совмещены две операции – раскисления и модифицирования.

Проведенные исследования показали, что наибольший интерес представляют отсевы модификаторов с щелочноземельными металлами (ЩЗМ) на основе кремния, а также содержащие карбонаты ЩЗМ.

Технология получения раскислительно-модифицирующих композиций заключается в следующем:

В тигель помещали вторичный алюминий, который расплавляли в печи при температуре 780–800 °С. После расплавления в тигель помещали отсевы модификатора, выдерживали в печи в течение 5 минут, затем тигель извлекали и устанавливали на термостойкую подставку, после чего перемешивали смесь. При охлаждении системы до температуры 640–600 °С (близкой к ликвидусу) происходило замешивание отсевов модификатора в расплавленный алюминий в результате чего получали сыпучую композицию. Замешиванием отсевов модификаторов в расплаве вторичного алюминия, можно получить раскислительно-модифицирующие композиции, содержащие 25–35 % алюминия и 65–75 % модификатора.

По результатам исследований полученных раскислительно-модифицирующей композиции установили, что в композиции на базе отсевов модификатора с ЩЗМ на основе кремния наблюдается более равномерное распределение модификатора на поверхности частиц, что обусловлено растворением кремния в алюминии. Применение раскислительно-модифицирующей композиции, позволяет снизить загрязненность стали неметаллическими включениями повысить жидкотекучесть расплава, а также увеличить механические свойства отливок.

Исследование влияния технологических факторов при лазерной сварке и ее комбинации со сваркой ТИГ среднеуглеродистой легированной стали системы Fe-Cr-Mn-Si

¹Голубцова Е. С., ²Каледина Н. Б.

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный технологический университет

Для оптимизации погонного расхода электроэнергии $P/v_{св}$ (y_1) и погонной энергии сварки $q/v_{св}$ (y_2) при сварке стыковых соединений среднеуглеродистой стали толщиной 3; 6 и 10,4 мм системы *Fe-Cr-Mn-Si* способами лазерной сварки лазером *Nd:YAG* мощностью до 4,4 кВт и ее комбинации со сваркой ТИГ использован план эксперимента 2×3 , где 2 – два кодированных уровня сварки ($x_1 = -1$) и способа сварки ($x_1 = +1$), 3 – три кодированных уровня толщины свариваемой стали ($x_2 = -1, -3$ мм; $x_2 = 0, -5$ мм; $x_2 = +1, -9$ мм), а y_1 и y_2 – параметры оптимизации — погонный расход электроэнергии и погонная энергии сварки соответственно. Ошибки экспериментов соответственно составляли: $S_1 = 0,00367$ (5 % от среднего значения y_1); $S_2 = 0,046$ (5 % от среднего значения y_2). После обработки результатов эксперимента получены следующие уравнения регрессии:

$$y_1 = \frac{P}{v_{св}} = 0,058 - 0,05x_1 + 0,05x_2 - 0,064x_1x_2 + 0,024x_2^2;$$

$$y_2 = \frac{q}{v_{св}} = 0,756 + 0,0466x_1 + 0,806x_2 + 0,339x_1x_2 + 0,249x_2^2.$$

Анализ выведенных уравнений показывает, что наибольшее влияние на оба оптимизируемых параметра y_1 и y_2 оказывает толщина свариваемого металла (x_2). Минимальное значение $y_1 = 0,015$ кВт·ч/м будет при $x_1 = +1$ (лазерная сварка+ТИГ) и $x_2 = 0$ (6 мм). Минимальная величина параметра y_2 будет при $x_1 = -1$ (лазерная сварка при 4,4 кВт) и $x_2 = -1$ (толщина 3 мм), $y_{max} = 2,615$ будет при $x_1 = +1$ и $x_2 = +1$, т.е. при толщине свариваемой пластины 9 мм (лазерная сварка+ТИГ).

УДК 621.791.

Изучение влияния модифицирующей добавки в покрытие электрода на структуру сварного шва

¹Урбанович Н. И., ¹Комаров О. С., ²Радченко А. А., ²Игнатович З. В.

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт сварки и защитных покрытий ОХП ГНУ ИПМ

Модифицирование также находит широкое применение в сварочном производстве.

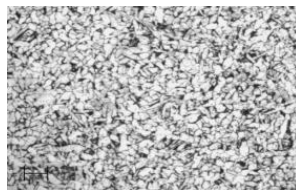
Целью данных исследований являлось определение влияния модификаторов, содержащих нано- и ультрадисперсные частицы, на структуру металла шва.

В качестве такой добавки был взят отсев модификатора марки «МС», который представляет смесь нано- и ультрадисперсных частиц размером от 50 нм до 300 мкм. Он представляет смесь в виде оксидов (% масс.): циркония (4 - 5), титана (3 - 4), ниобия (3 -4), остальное солей фтора в виде криолита (79-81). Добавку с натриевым жидким стеклом наносили на покрытие стандартных электродов марки УОНИ -13/55 диаметром 3 мм.

На рисунке представлены микроструктуры центральной части сварных швов и основного металла.



a



б

Микроструктура сварных швов:

a – стандартным электродом; *б* – с модификатором МС

Структура металла сварного шва, полученного электродом без добавки, характеризуется наличием участков с повышенным содержанием таких хрупких составляющих как блочный феррит и феррит Видманштетта. Зерна имеют величину от 20 до 50 мкм. Металл шва, полученного электродом с модификатором «МС», имеет более дисперсную структуру и величина зерна составляет 10-30 мкм.

Показано, что ввод в покрытие модификатора измельчил структуру и изменил морфологию зерна металла шва, что положительно отразится на показателях по механическим свойствам, особенно ударной вязкости.

Практическое применение гидроабразивной очистки металлических поверхностей в машиностроительном производстве

¹Качанов И. В., ¹Филипчик А. В., ²Бабич В. Е., ¹Жук А. Н.

¹Белорусский национальный технический университет

²Университет Гражданской Защиты МЧС Беларуси

Современный этап развития машиностроения характеризуется применением на стадии заготовительного производства операций лазерной резки листового материала на высокотехнологичных комплексах типа TRUMATIC (рис. 1). Для процесса лазерной резки металлов можно выделить основные факторы, определяющие производительность и качественные показатели процесса. Среди них основными являются скорость лазерной резки $V_{лр}$, светопоглощительная способность поверхности материала, отсутствие (наличие) грата на вырезанных деталях.

Для оценки влияния режимов ГАО на подготовку поверхности под лазерную резку на машиностроительном предприятии ОАО «Агат – электромеханический завод» были проведены производственные испытания по ЛР для четырех сравнительных групп стальных образцов из стали 08кп с линейными размерами 100×100 мм и толщиной $S = 1-20$ мм, покрытые продуктами коррозии с двух сторон. Предварительно образцы были очищены с одной стороны по различным технологиям.

Указанные образцы разрезались на комплексе TRUMATIC L2530. Результаты резки образцов приведены на рис. 2.



Рис. 1. Внешний вид комплекса лазерной резки TRUMATIC:

1 – задвижная крышка; 2 – панель управления; 3 – паллета; 4 – устройство подачи листов

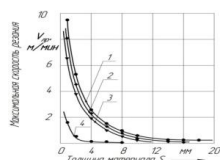


Рис. 2. Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины материала

Из анализа проведенных испытаний было установлено, что для исследованных образцов, в частности, с толщиной $S = 2$ мм отмечалось увеличение скорости лазерной резки с 0,4 м/мин (резка образца № 4), до 5,0 м/мин (резка образца № 1). Отмеченные скорости были получены из условия отсутствия грата на боковой поверхности реза. При равной скорости резки (5,0 м/мин) на 1-м образце грат отсутствует, в результате чего технологическая операция по зачистке грата нецелесообразна, а например на 4-ом образце длина грата составляет 2 мм.

Исследование влияния параметров термобарической обработки на фазовый состав композитов на основе нитрида кремния

Волосатиков В. И., Силина Т. В., Симончик А. П.
Белорусский национальный технический университет

Для создания высокоплотных керамических материалов на основе тугоплавкой нитридной керамики широко используются технологии комплексной обработки материалов высокими давлениями и температурами. Спекание под высоким давлением позволяет достичь высокой степени уплотнения данной керамики. Однако, для получения и сохранения нанодисперсной структуры с заданным фазовым составом керамики необходимо использовать композиционную шихту, состоящую из нескольких компонентов.

С целью оптимизации физико-механических характеристик композитов на основе нитрида кремния и нитрида бора были выполнены исследования, связанные с изучением его тонкой структуры.

Исходные компоненты – субмикронные порошки Si_3N_4 и BN смешивались в смесителе в различных пропорциях в течение 12 часов в этиловом спирте. Образцы из шихты подвергались горячему прессованию в диапазоне температур от 1600 °С до 1800 °С. Давление при спекании составляло 4 ГПа.

Изучение фазового состава полученных образцов проводили с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 в $\text{Cu-K}\alpha$ монохроматизированном излучении. Определение качественного и количественного фазового состава полученных композитов проводили с использованием специализированного программного обеспечения “Crystallographica Search-Match”.

Фазовый состав композитов в исследуемом диапазоне температур и давлений представляет собой совокупность α - и β -модификации Si_3N_4 , α - и β -модификации BN и незначительного количества оксида кремния.

Содержание гексагональной модификации нитрида бора (α -BN) и его кубической модификации (β -BN) остается неизменным во всем исследуемом диапазоне температур и соответствует содержанию этих фаз в исходной шихте. В то же время с увеличением температуры спекания содержание α -модификации Si_3N_4 уменьшается и практически полностью переходит в β -модификацию Si_3N_4 при температуре 1800 °С.

С ростом температуры спекания наблюдается также тенденция к незначительному росту количества фазы SiO_2 , которая образуется в результате частичного распада нитрида кремния при повышенных температурах спекания.

УДК 539.893: 546.28.171.1

Исследование морфологии и фазового состава шихты для изготовления композитов на основе нитридной и оксидной керамики

Волосатиков В. И., Григорьев С. В., Сенченко Г. М.
Белорусский национальный технический университет

Для работы в качестве режущего инструмента при рабочих температурах более 1000°C на предприятиях используются термостойкие керамические материалы на основе нитрида кремния. Для создания высокоплотных керамических материалов, обладающих нанодисперсной структурой и требуемым фазовым составом в исходную шихту необходимо вводить материалы, которые позволяют модифицировать физико-механические и технологические свойства керамики. Перспективным направлением модифицирования физико-механических и технологических свойств композиционных материалов на основе Si_3N_4 является введение в исходную шихту оксидов редкоземельных элементов. Шихту из порошков нитрида кремния с добавкой 5% (по массе) порошка оксида европия смешивали в смесителе в среде этилового спирта в течение 12 часов.

На рис. 1, *а* представлен внешний вид исходного порошка Eu_2O_3 , а на рис. 1, *б* – порошок шихты, состоящей из субмикронного порошка Si_3N_4 с 5% порошка Eu_2O_3 .

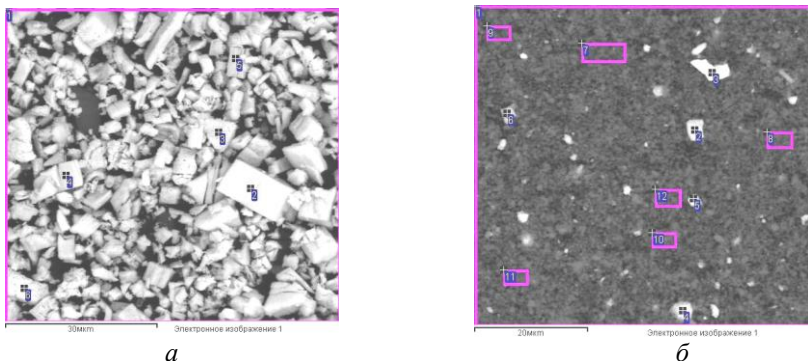


Рис. 1. Внешний вид порошка Eu_2O_3 и шихты Si_3N_4 с 5% Eu_2O_3 :
а – исходный порошок Eu_2O_3 , *б* – порошок шихты Si_3N_4 с 5% Eu_2O_3

Форма частиц порошка Eu_2O_3 осколочная с основной фракцией 5-10 мкм. При смешивании крупные частицы Eu_2O_3 размером более 10 мкм дробятся до размера порядка 5 мкм, размер порошка Si_3N_4 остается неизменным. Фазовый состав шихты состоит из - α и β - Si_3N_4 и Eu_2O_3 .

Раздельный синтез и поверхностная диффузия при получении конструкционной керамики

Керженцева Л. Ф., Жук В. А.

Белорусский национальный технический университет

Твердофазное реакционное спекание простых элементов (кремния и углерода) в нанопокровьях, полученных на металлических, керамических и алмазных порошках, позволяет изготовить композиты с уникальным комплексом свойств за счет управления строением зоны соединения частиц на атомном и кластерном уровнях. Способы получения тонкопленочных керамических покрытий с использованием процессов испарения и конденсации с участием химических реакций различают по диффузионному и бездиффузионному механизмам их образования.

Принцип раздельного синтеза керамических материалов предусматривает получение базового материала в аморфном состоянии с последующим взаимодействием с реакционным газом (твердым элементом). Раздельный синтез в покрытиях происходит в два этапа: на первом этапе формируется покрытие из смеси с аморфной структурой низкой дефектности; на втором – протекает реакционное спекание в твердой фазе при низких температурах. Например, в покрытиях Si+C большой толщины (свыше 100 нм) реакция $Si+C = SiC$ протекает с поглощением тепла, что вызывает изменение механизма формирования карбидокремниевого слоистого покрытия на диффузионный. Дилатометрические исследования подтвердили, что реакционное спекание активных, полученных по вакуумной технологии, атомов Si и C протекает в диапазоне температур 650–850 °С. При отжиге 850 °С в покрытии протекают диффузионные процессы перемещения подвижных атомов углерода с образованием SiC с гексагональной плотно упакованной решеткой (α -фазой) и сохранением в структуре аморфного слоя. Количество фаз, получаемых в процессе синтеза, определяется условиями распыления и конденсации (давление, температура, концентрация). Для однофазного состояния необходимо изменять один параметр – температуру, которая должна снижаться, максимально приближаясь к внешним условиям. Без температурного воздействия, как интенсифицирующего фактора диффузии, процессы структурообразования невозможны или развиваются вяло. В роли стимулятора процесса синтеза, а следовательно и диффузии, может выступать не только температура процесса, но и энергия перехода однофазного материала из аморфного состояния в кристаллическое в присутствии электроотрицательного компонента (кислород, азот и др.).

Методология определения температур синтеза соединений с помощью dilatометра

Жук А. Е., Григорьев С. В.

Белорусский национальный технический университет

Моделирование процесса реакционного спекания в конденсированных покрытиях осуществлялось путем использования dilatометрических испытаний уплотненного порошка с нанопокрытием. Схема модели для проведения реакционного спекания представлена на рисунке. В модели предусматривается проведение испытаний в два этапа: 1 – традиционное испытание в dilatометре с фиксированием температуры фазовых превращений; 2 – испытанием порошков с покрытием с размещением по торцам реактора железного порошка с покрытием смесью кремния и молибдена, с повышением температуры и теплового расширения железного порошка происходит реакция образования дисилицида молибдена, что ограничивает осевое перемещение исследуемых порошков и позволяет проследить за процессом спекания частиц через нанопокрытие.

Для определения температуры реакционного спекания в покрытии SiC были выполнены исследования образцов из порошка кремния с углеродным покрытием на dilatометре при нагреве до 1000°C. Dilatометрические испытания проводили на dilatометре «Netzsch 402 E» со скоростью нагрева 5 град/мин. Ограничивая перемещение порошка в осевом направлении, определяли усадку и характер активированного спекания частиц. Согласно dilatограмме, в интервале температур 650–850°C отмечается отклонение кривой нагрева, что связано с реакционным спеканием карбида кремния в зоне контакта покрытия и частицы.



Схема модели для проведения реакционного спекания

Условия получения тонкопленочных покрытий на металлической основе сферических порошков Ti и FeSi

Керженцева Л. Ф., Жук А. Е., Жук В. А.
Белорусский национальный технический университет

Повышение характеристик пористых порошковых материалов достигается использованием сферических порошков с гладкой поверхностью, спекание которых в свободной засыпке представляет технические трудности. Получение пористых изделий из порошков с нанопокрытием из смеси компонентов, химически не взаимодействующих при осаждении и формовании, позволяет изготовить пористую заготовку с заданным распределением пор в условиях спекания. Нанесение покрытий осуществляли в условиях раздельного синтеза из смеси атомов, вступающих в реакцию при спекании. Спекание порошка Ti в вакууме наблюдается при температуре образования из смеси компонентов карбидов или силицидов, что позволяет получить пористые порошковые материалы с высокими свойствами.

Для определения температуры спекания и образования силицидов молибдена и титана проводили dilatометрические исследования порошка FeSi с покрытием Mo – Si. Конденсат из смеси Mo + Si представляет многокомпонентную систему с ограниченной взаимной растворимостью с Ti. Реакционное спекание протекает по экзотермическим реакциям ($Mo + 2Si + C = MoSi_2C$). Ti в зоне контакта с конденсатом образует высоко- и низкотемпературные фазы TiSi и $TiSi_2$ при 650–900°C.

Длительное магнетронное распыление кремния, молибдена и графита приводит к нагреву графита и ускоренному его распылению в виде дисперсных частиц. Кремний Si распыляется в виде атомов с низкой скоростью, а при нагреве свыше 600 °C распыление идет группой атомов – кластерами, тугоплавкий металл молибден распыляется с высокой скоростью атомами. Неоднородный эмиссионный поток при длительном распылении формирует в центре атомы высокоплотного Mo, на периферии атомы (кластеры) Si. При распылении Mo – C Mo распылялся на периферии, а в центре – графит (катод конической формы). Эффективность магнетронного распыления и осаждения определялась использованием электромагнитной системы с автоматической стабилизацией процесса.

Спекание порошка протекает через прослойку $MoSi_2$ при 940–1000 °C. Использовали низкие давления рабочего газа до 0,3 – 0,35 Па при токе катодки до 1 А, что увеличило присутствие Mo в плазме. По микротвердости при нагрузке 1 кг оценивали прочность связи в спеченных частицах. Микротвердость внутри частиц 5600 МПа, на границах 5300 МПа.

Обработка материалов давлением

Исследование влияния геометрических и технологических факторов на энергосиловые параметры сферодвижной штамповки конического зубчатого колеса

Качанов И. В., Кудин М. В. Ленкевич С. А., Шаталов И. М.,
Кособуцкий А. А.

Белорусский национальный технический университет

В ходе работы основное внимание уделялось методам определения энергосиловых параметров процесса, характеру пластического течения в зависимости от геометрии исходной заготовки. Данные задачи решались с использованием программного комплекса 3D-DEFORM применительно к экспериментальным компьютерным моделям.

Анализ полученных результатов выполнен сравнением параметров формоизменения в 3D-DEFORM процессов деформирования заготовки при традиционной штамповке ($\gamma = 0^\circ$) и штамповке с углом обкатывания $\gamma = 1^\circ$ для двухпереходной штамповки конического зубчатого колеса.

Проведенный сравнительный анализ компьютерных моделей показал высокую эффективность сферодвижной штамповки в плане снижения усилия деформирования и энергоемкости применяемого оборудования в сравнении с традиционной штамповкой (в 3 раза).

В процессе опытно-промышленных испытаний было установлено, что можно снизить усилие деформирования до 3400 кН путем снижения скорости деформирования v . Однако при штамповке опытных партий все же происходило разрушение зубчатого венца матрицы на 20–30 поковке на втором переходе.

По характеру разрушения зубчатого венца матриц установлено, что концентраторы напряжений, приводящих к поломке, возникают на стадии калибровки на внешнем торце колеса. В результате сильного наклепа заусенец перестает пластически течь и прикладываемое усилие штамповки через него передается на основание зубьев матрицы в виде знакопеременной нагрузки, что и ведет к их поломке.

Для изменения напряженно-деформированного состояния на внешнем торце конического зубчатого колеса при сферодвижной штамповке на исходной заготовке на нижнем торце выполнили кольцевую проточку.

В процессе проведенных экспериментов было установлено, что для заготовок с кольцевой проточкой можно снизить усилие деформирования до 2400 кН путем дальнейшего снижения скорости деформирования v без потери качества заполнения зубьев конического колеса. Следовательно, наличие кольцевой проточки показало свою эффективность.

Экспериментальные исследования влияния технологических параметров при холодном выдавливании конических зубчатых колес сферодвижной штамповкой в два перехода

Шаталов И. М., Власов В. В., Быков К. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Экспериментальные исследования проводились на прессе швейцарской фирмы "Heinrich Schmid Maschinen- und Werkzeugbau AG" ("SCHMID") модели T300. Пресс модели T300 является модульным гидравлическим прессом для сферодвижной штамповки (рисунок 1). Максимальное усилие, развиваемое прессом, составляет 4000 кН, максимальная частота качения – 700 об/мин⁻¹, регулировка угла качения составляет 0 - 2°.

Скорость подачи и величину колебательных движений задавали на панели управления и истинность вводимых параметров контролировали с помощью виброанализатора СД-21. С помощью входящих в комплект виброанализатора датчиков проводились исследования перемещения ползуна прессы и колебательного движения сферодвижной головки (пуансона).

Исследования показали, что при увеличении частоты обкатывающих движений, как на 1 переходе, так и на 2 происходит возрастание амплитуды и уменьшение периода колебаний по определенному закону и с возрастанием числа обкатывающих движений создается наиболее благоприятный режим деформирования. Увеличение частоты обкатывающих движений постоянно ведет к снижению максимального усилия штамповки.

Исследования по величине подачи матрицы к обкатываемому пуансону показали, что при скоростях деформирования от $v = 6,0$ мм/с и выше наблюдаются волны возмущений, амплитуда которых возрастает по мере увеличения скорости деформирования, что может вести как к проскальзыванию пуансона по заготовке, так и создавать крутящий момент на заготовке. Такие явления ведут к ухудшению поверхности, неравномерному пластическому течению и дополнительной нагрузке на инструмент.

Сравнивая результаты экспериментальных исследований для 1 и 2 перехода штамповки можно сделать вывод, что наиболее эффективный технологический режим при сферодвижной штамповке конического зубчатого колеса создается при скоростях деформирования в пределах $v = 3-5$ мм/с и частоте обкатки 600 об/мин.

Исследование влияния кинематических параметров инструмента и технологических режимов процесса получения трубок малого диаметра из ленты на качество изделий

Карпицкий В. С., Карпицкий Ю. В.

Белорусский национальный технический университет

Работа посвящена совершенствованию процесса получения трубок малого диаметра из ленты. В ходе экспериментальных исследований отработаны технологические режимы процесса, определены оптимальные кинематические параметры волочильного инструмента (волоки), обеспечивающие качественную свертку ленты (полосы) в трубчатое изделие требуемого диаметра.

Установлено, что наиболее лучшими условиями для снижения усилия протягивания заготовки является использование волок с углом заходной части 10° – 25° и шириной калибрующего пояска равной $0,5 \pm 2,5$ мм. Протяженность заходной части зависит от диаметра трубки и составляет не менее $2/3$ ее длины.

Более плотное, герметичное и качественное стыковое соединение возможно получить за счет пластичной деформации. С этой целью после формирования трубчатого изделия в зоне свертки заходной части волоки редуцирование в калибрующей её зоне проводили его безоправочное волочение через волоку с разовой степенью деформации равной $1,2\%$. С учетом этого была произведена корректировка расчетной ширины исходной заготовки для определенного диаметра трубки с учетом дополнительного припуска по ширине на пластическую деформацию в обжимной и калибрующей части волоки для образования более качественного стыкового соединения.

Для получения трубок с наружным диаметром до 2 мм. использовали углеродистые качественные стали марки 10, 20 и сталь легированную коррозийностойкую марки X18H9T толщиной $0,15$ – $0,2$ мм. Процесс свертки полосы в трубчатое изделие производили с использованием стандартных твердосплавных волок с углом конусности 12° и длиной калибрующей части 1,5 мм. Тянущее усилие при этом составляет на первом переходе 220 Н при степени деформации 15% , а на заключительной стадии волочения – 25 Н. За счет последующего пластического деформирования сдвигом на завершающей стадии волочения обеспечивалось качественное стыковое соединения трубчатого изделия.

Изготовление полых изделий из композиционных материалов

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Значительная жесткость металлокерамических порошков обуславливает низкую прочность отпрессованных изделий, что зачастую приводит к их разрушению непосредственно в контейнере в результате упругого последствия контейнера или при выпрессовке из него в результате действия сил контактного трения. Для изготовления изделий из трудноформуемых порошковых материалов предлагается технология прессования в тонкостенном упругодеформируемом контейнере. В процессе прессования тонкостенный контейнер подвергается радиальному обжатию, в результате которого рабочий канал контейнера упруго уменьшается. После снятия усилия прессования и радиального давления на контейнер последний восстанавливает свои первоначальные размеры и между контейнером и прессовкой образуется зазор, позволяющий легко извлечь изделие из контейнера. Метод может быть использован для прессования тонких пластин, колец и тонкостенных втулок, в том числе весьма малой плотности. Схема прессования втулок с использованием двух концентрично расположенных тонкостенных упругодеформируемых контейнеров, формирующих наружный и внутренний диаметры изделия, приведена на рисунке.

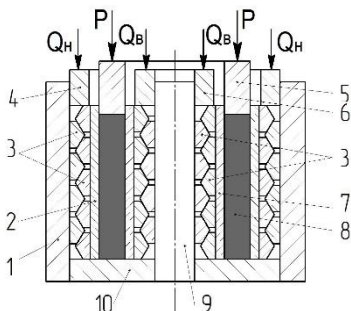


Схема прессования втулок
в упругодеформируемых
контейнерах:

- 1 – жесткий контейнер; 2 – наружный упругодеформируемый контейнер; 3 – кольцевые пружины; 4 – наружный обжимной пуансон; 5 – прессующий пуансон; 6 – внутренний обжимной пуансон; 7 – внутренний упругодеформируемый контейнер; 8 – порошковая заготовка; 9 – центрирующая оправка; 10 – оппная пластина

Контанеры 2 и 7 под действием пуансонов 4, 6 и кольцевых пружин 3 упруго деформируются в радиальном направлении. После прессования порошковой заготовки пуансоном 5 и снятия усилий P , Q_n , Q_v контейнеры 2 и 7 в результате упругого последствия восстанавливают свои размеры. Между спрессованным изделием и стенками контейнеров образуются зазоры, позволяющие беспрепятственно извлечь прессовку.

Контанеры 2 и 7 под действием пуансонов 4, 6 и кольцевых пружин 3 упруго деформируются в радиальном направлении. После прессования порошковой заготовки пуансоном 5 и снятия усилий P , Q_n , Q_v контейнеры 2 и 7 в результате упругого последствия восстанавливают свои размеры. Между спрессованным изделием и стенками контейнеров образуются зазоры, позволяющие беспрепятственно извлечь прессовку.

**Особенности термического и деформационного упрочнения
при термопластической обработке**

¹Давидович А. Н., ¹Голубев В. С., ²Давидович Л. М., ²Мазуренок А. В.

¹УП Физико-Технический институт НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

В силу поликристаллического строения все металлы при пластическом деформировании упрочняются за счет движения и взаимодействия дефектов кристаллической решетки, при этом их плотность увеличивается.

Постепенный рост плотности дислокаций происходит в результате деформации металла до степеней, соответствующих плотности дислокаций $\rho = 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Дальнейшее повышение степени деформации не дает заметного увеличения прочности металла, поскольку начинается процесс аннигиляции дислокаций различных знаков с возрастанием релаксационных процессов и зарождением дефектов разрушения металла.

Таким образом, обычное, непрерывное пластическое деформирование не даст значительного увеличения прочности металла и, тем более, не дает приблизиться к предельной ее величине, поскольку при больших степенях деформации из двух конкурирующих процессов упрочнения и разупрочнения интенсивность последнего будет возрастать, приводя в конечном итоге к снижению прочности металла и к его разрушению.

Дополнительное упрочнение металла путем увеличения плотности фрагментированной структуры очевидно следует достигать циклическим повторением малых деформаций с предварительной разгрузкой деформируемого объема или разбиением технологического процесса на этапы по времени и степени деформации. Во время разгрузки происходит неконсервативное «переползание» находящихся ранее в напряженном состоянии дислокаций и, соответствующая этому, релаксация внутренних напряжений. Наступает своеобразный «отдых» металла, который позволяет получать дополнительное упрочнение на последующих этапах деформирования.

На завершающей стадии обработки производится закалка изделий с фиксированием фрагментированной дислокационной структуры с высокими механическими свойствами стали. На практике этот подход реализован при изготовлении лезвий деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники повышенной прочности.

**Комбинированная электротермомеханическая обработка
почворежущих деталей**

¹Давидович Л. М., ²Кирило О. В., ²Давидович А. Н., ³Давидович В. А.

¹Белорусский национальный технический университет

²Физико-технический институт НАН Беларуси

³Минский городской технопарк

Разработана специальная технология изготовления деталей сельскохозяйственной техники с высокими механическими характеристиками, обеспечивающая повышение работоспособности этих деталей в условиях абразивного и ударного воздействия.

Особенностью конструкции почвообрабатывающих органов сельскохозяйственной техники является наличие лезвийной части с остро заточенной кромкой. Для получения таких деталей с высокими эксплуатационными характеристиками в условиях повышенного контактно-усталостного износа разработана и исследована комбинированная технология, основанная на методе продольно-поперечной прокатки листовой заготовки и электротермической обработки лезвийной части изделия. При этом вследствие особенностей пластического течения металла при продольно-поперечной прокатке периферийные слои заготовки приобретают большее удлинение по сравнению с центральными, в результате чего на торцах заготовки образуется лезвие. Последующая электротермообработка, в едином технологическом цикле, обеспечивает получение высокопрочного состояния металла с мелкозернистой структурой.

Основные операции при формообразовании таких плоских изделий с переменным профилем: индукционный нагрев, продольно-поперечная прокатка, объёмная штамповка, термоциклическая обработка, закалка, отпуск.

Установлено, что оптимальным сочетанием операций комплексной технологии является трехкратная термоциклическая обработка в диапазоне (715-871 °С), продольно-поперечная прокатка заготовки при температуре 100-1050 °С, с максимальной степенью деформации тела лезвия (80-90 %). Такая обработка обеспечивает получение следующего уровня механических свойств стали 33ХС – твердость 46-48 HRC с пределом прочности $\sigma_b = 1600-1650$ МПа. Пластические свойства материала после обработки обеспечивают угол изгиба изделия после приложения нагрузки 25кН – 135°, что свидетельствует о достижении комплекса высоких прочностных и вязких характеристик материала.

Особенности технологии электроконтактного нанесения износостойких покрытий на внутреннюю поверхность стальных втулок

Белявин К. Е., Минько Д. В.

Белорусский национальный технический университет

Повышение эксплуатационных характеристик инструментальных материалов, работающих в условиях жестких режимов нагружения, и создание новых экономичных и производительных технологий их получения является актуальной задачей инструментальной промышленности.

Особенностью электроконтактного нанесения износостойких покрытий является простота и высокая производительность, обеспечивающая быстрое получение покрытий переменной толщины с высокой точностью и чистотой поверхности. В качестве материала покрытия могут быть использованы порошки и отходы обработки твердых сплавов типа ВК, а также порошки самофлюсующихся Fe-Cr-B-Si-сплавов.

В качестве технологического оборудования использовали машину контактной точечной сварки модели МТ2201 с усилием сжатия электродов 1-8 кН и с конструктивной доработкой сварочной цепи, позволяющей получать импульсы переменного тока силой 1-20 кА, частотой 50 Гц.

Разработанная технология может применяться при изготовлении фильер и втулок для правки проволоки, восстановлении и упрочнении покрытиями стальных деталей автотракторной, строительной, сельскохозяйственной, мелиоративной, коммунальной, буровой техники; железнодорожного транспорта; оборудования нефтехимической, перерабатывающей и станкостроительной промышленности.

С использованием разработанной технологии изготовлены биметаллические втулки правильно-отрезных станков с наружным диаметром 30 мм и длиной 50 мм, используемые для правки арматурной проволоки в производстве железобетонных изделий. Внутренние рабочие поверхности втулок диаметром 10-18 мм упрочняли порошком сплава Fe-Cr-B-Si с размерами частиц от 0,063 мм до 0,315 мм путем многократного воздействия импульсного электрического тока. Твердость рабочих поверхностей втулок составила 68-74 HRC. Внедрение изготовленной опытно-промышленной партии втулок правильно-отрезных станков для правки арматурной проволоки на комбинате железобетонных изделий показало увеличение их срока службы в 10-12 раз по сравнению с применяемыми втулками из стали 6Х2ВС, имеющими твердость 57-61 HRC.

Технология пластического формообразования деталей приспособлений медицинского назначения

Иваницкий Д. М., Иваницкий С. В.

Белорусский национальный технический университет

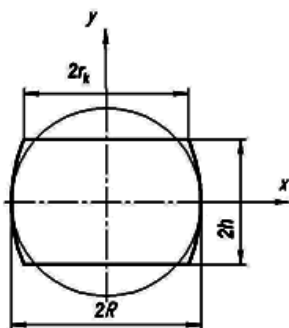


Рис. 1. Изменение поверхности кругового сечения

Технологии изготовления приспособлений для лечения ортопедотравматологических больных, например, полуколец к аппарату Илизарова, требуют использования заготовок в виде полос с заданными геометрическими и механическими параметрами. Такие полосы целесообразнее получать плющением круглого прутка (рис. 1). Уравнение для расчета зависимости ширины прокатной из прутка полосы от ее толщины

$$B_1 = B_H + \left(\frac{1}{f_y} + \frac{f_x 2l}{f_y \Delta h} \right) \left(h_1 \ln \frac{h_1}{h_H} + h_H - h_1 \right).$$

Расчеты изменения конечной ширины прокатных из прутка полос проводили для диаметра 10 мм. Для упрощения принимали $f_x = f_y$. При этом в отсутствии смазки $f = 0,15$.

При деформировании полосы на ребро в валках (рис. 2) применяется процесс прокатки с верхним или нижним давлением. В прокатном производстве известно появление изгиба полосы при неравенстве диаметров валков. Полоса в таких случаях изгибается в сторону валка меньшего диаметра. Изгиб полосы наблюдается также при прокатке в валках одинакового диаметра, но вращающихся с разными окружными скоростями.

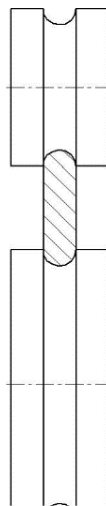
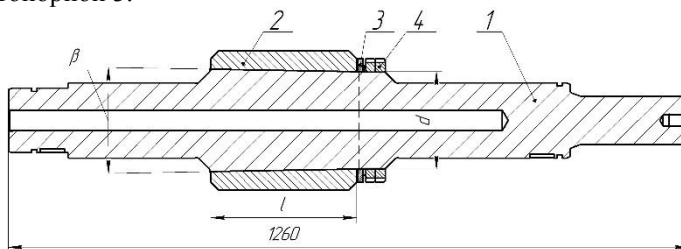


Рис. 2. Схема обжатия полосы в валках на ребро

Обеспечение ремонтпригодности валков для прокатки полос малолистовых рессор

Исаевич Л. А., Иваницкий Д. М., Крицкий А. Д., Сидоренко М. И.
Белорусский национальный технический университет

С целью обеспечения ремонтпригодности валков предложена их конструкция в виде бандажированного валка. Как видно из рисунка, в бандаже 2 выполнено центральное коническое отверстие с углом конусности β , а бандаж 2 фиксируется на валу 1 двумя гайками 4 посредством шайбы стопорной 3.



Эскиз бандажированного валка

Для передачи крутящего момента от вала к бандажу необходимо определить максимальное усилие поджатия самого бандажа в коническом соединении к валу гайками посредством стопорной шайбы, обеспечивающее надежную фиксацию бандажа на поверхности при максимальном крутящем моменте.

Сдвиг бандажа относительно оси вдоль дуги касания может произойти под действием касательных напряжений. Определим минимальное усилие прижима бандажа к валу, обеспечивающее прочность соединения

$$Q = f_1 \left(2M_{кр1} / d \right) \cdot \sin(\beta/2),$$

где d – минимальное значение диаметра посадочной поверхности.

Исходные данные для расчетов: $f_1 = 0,15$; $M_{кр1} = 37018 \text{ Нм}$; $d = 181 \text{ мм}$; $\beta = 3^\circ$. Подставив исходные данные в выражение (1), получим

$$Q = 0,15(2 \cdot 37018000 / 181) \cdot \sin(3/2) = 1606 \text{ Н}.$$

Таким путем обеспечивается условие передачи крутящего момента в сборном валке.

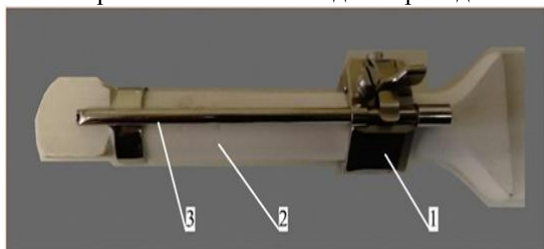
Направляющий адаптер биопсийного ультразвукового датчика

Качанов И. В., Кособуцкий А. А., Минченя В. Т., Ивановская М. И.,
Сизов В. Д., Ленкевич С. А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из проблем тонкоигольной пункционной биопсии предстательной железы под ультразвуковым контролем, является необходимость замены адаптера после проведения очередной манипуляции, т.к. известные адаптеры состоят из устройства крепления (корпуса) к датчику и жестко закрепленного в устройстве направлятеля иглы, представляющего собой трубчатый стержень, на конце которого жестко установлен фиксирующий элемент.

Предложена инновационная методика, позволяющая увеличить пропускную способность при проведении биопсий, основанная на замене сменных направлятелей после каждого проведения манипуляции на стерильные.



Адаптер со сменными направлятелями

Использование предложенного адаптера (рисунок) предполагает следующий алгоритм действий. Корпус 1 устанавливается на ультразвуковом датчике 2, для чего на цилиндрическую поверхность датчика одеваются скобы и фиксируются при помощи шарнирно установленного винта с гайкой. После этого оператор, удерживая датчик с корпусом левой рукой, пальцами правой руки поворачивает рычаг, при этом зона между прижимной пружиной и желобом освобождается и в нее устанавливается направлятель 3. Затем рычаг поворачивается в исходное положение, и прижимная пружина надежно фиксирует направлятель в желобе. На датчик с адаптером одевается двухслойная изолирующая оболочка, после чего датчик с адаптером готов к использованию.

Используются биопсийные иглы 16-18 g длиной от 15 до 25 см. Игла вводится в отверстие направлятеля со стороны корпуса адаптера (фиксирующего устройства). После манипуляции с очередным пациентом рычаг поворачивают и направлятель извлекается. Использованные направлятели отправляют на стерилизацию.

**Компьютерное моделирование процесса деформирования
композиционного материала**

Белый А. Н.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с возможностью проведения компьютерного моделирования порошков в системе LS-DYNA.

В основе компьютерного моделирования порошковых материалов лежит метод конечных элементов (МКЭ). Данный метод получил широкое распространение для процессов обработки металлов давлением, однако его использование при решении задач связанных с обработкой порошковых металлов является относительно новым направлением.

Особенность использования МКЭ в таких задачах связана с тем, что традиционные подходы механики сплошной среды, в частности гипотеза об однородности деформируемой среды, не подходят для моделирования процесса деформации порошковых материалов, поскольку необходимо учитывать неоднородность структуры материала и изменение плотности при деформации.

Для оценки адекватности выбранных моделей материала были решены тестовые задачи. Рассматривался процесс одноосного сжатия под давлением в 300 МПа цилиндрического образца в закрытой пресс-форме, материал образца – БрОФ 10-1, размеры образца – диаметр $D = 20$ мм, исходная – высота $H = 30$ мм. Начальная относительная плотность материала – 0.51.

Предложен подход моделирования порошковых материалов, используя пакет инженерного анализа LS-DYNA, построены тестовые конечно-элементные модели для проведения численного моделирования процесса прессования цилиндрических образцов.

Результаты проведенных виртуальных экспериментов позволили дать представление о характере протекающих процессов, общих закономерностях формоизменения порошков, получить численные данные, характеризующие физические величины.

Как показали эксперименты обе рассматриваемые модели материала DRUCKER-PRAGER CAP MODEL и GEOLOGIC CAP MODEL достаточно точно описывают поведение порошка при прессовании, результаты согласуются как количественно, так и качественно.

Таким образом, можно говорить об адекватности разработанных компьютерных моделей и их возможности использования при моделировании более сложных процессов, к примеру, прокатке заготовок из порошкового материала.

Материаловедение в машиностроении

Константинов В. М.

Белорусский национальный технический университет

Инженерная безопасность государства во многом определяется наличием высококвалифицированных, повышающих свою квалификацию, мотивированных инженерных кадров. Традиционная подготовка таких кадров на уровне ВУЗа сегодня является только первой ступенью в подготовке конкурентоспособных инженерных кадров. Для подготовки специалистов такого уровня следует активнее использовать доказавшую свою эффективность магистратуру.

Опыт работы с магистрантами за последние годы позволил отработать определенный алгоритм организации работы над магистерской диссертацией: 1. Подбор профессионально пригодного специалиста и мотивация его для выполнения магистерской диссертации. Ежегодно 15–30 % выпускников кафедры поступают в магистратуру. 2. Подбор тематики диссертации по возможному профилю работы, в ряде случаев, по научному профилю руководителя. 3. Формирование плана приема в магистратуру проводится под конкретных выпускников кафедры. 4. Выполнение и защита диссертации на кафедре с практическим внедрением.

В 2017 году на кафедре обучалось 9 магистрантов заочной формы обучения, работающих на ряде ведущих предприятий машиностроения Беларуси. Специфика заочной магистратуры требует регулярного контроля состояния диссертации. Периодическая аттестация магистратов в период обучения предусматривает обязательное устное выступление аттестуемого. На первых порах это вызывает определенные сложности, однако, к моменту защиты диссертации магистранты достаточно уверенно аргументируют свою точку зрения, совершенствуют навыки инженерной дискуссии.

Следует отметить сохраняющуюся недостаточную производственную и экономическую мотивацию повышения квалификации через магистратуру. Статус магистра в производственных условиях до конца не определен. Между тем, конкурентное научно-техническое развитие белорусских предприятий в условиях жесткой глобальной конкуренции предполагает широкое использование именно таких специалистов.

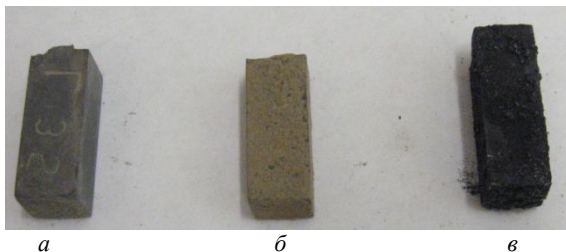
В целом, институт магистратуры может и должен стать эффективным инструментом решения научно-технических проблем и подготовки высококвалифицированных научно-производственных сотрудников, способных успешно конкурировать на внутреннем и внешних рынках.

Перспективы применения индукционного цинкования в обмазках для строительных металлоконструкций

Ситкевич М. В., Булойчик И. А. Карниенко А. Д.
Белорусский национальный технический университет

Термохимическая обработка крупногабаритных изделий термодиффузионным способом требует значительного расхода дорогостоящей диффузионной смеси. При этом обработка плоских крупногабаритных конструкций и их размещение во вращающейся реторте представляют сложную техническую задачу. Для исключения описанных недостатков технологий ТДЦ при сохранении их неоспоримых преимуществ перспективу представляют технологии нанесения термодиффузионных покрытий из суспензий на основе полимеров и металлических порошков. Суспензия наносится на предварительно очищенное изделие методами напыления, окунания или окраски. После сушки при комнатной температуре изделие с нанесенной суспензией помещается в камеру с индуктором.

При подаче тока на индуктор в изделии возбуждаются токи Фуко, изделие нагревается, полимерное связующее разлагается, а металлический порошок, содержащийся в суспензии, частично диффундирует в поверхность стальной подложки, образуя монолитное интерметаллидное покрытие, а в остальной части подплавляется и спекается (рисунок).



Состояние поверхности образцов с нанесенными обмазками на основе цинкового порошка, после дополнительной обработки в индукторе при 600 °С:

a – Цинкование, *b* – цинк-азотирование; *v* – цинк-борирование

Применение шликерных композиций с последующим воздействием электромагнитного поля с целью формирования на изделии интерметаллидного диффузионного слоя является эффективным решением для объемных деталей сложной формы, требуемые характеристики защитного покрытия на которых не могут быть обеспечены традиционными способами цинкования.

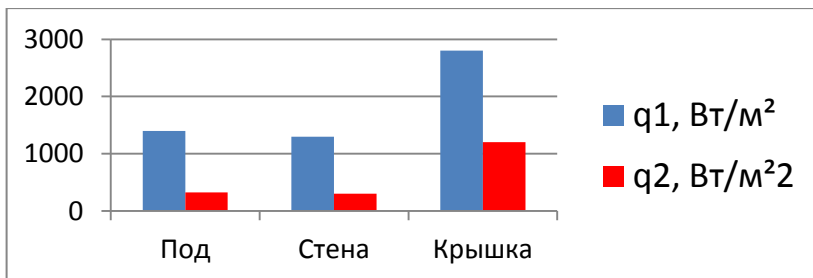
Энергосбережение в термических печах путем реконструкции футеровки

Стефанович В. А., Чайко Ю. В., Мельниченко В. В.
Белорусский национальный технический университет

Проблемы энергосбережения встали в последние годы особенно остро в связи с энергетическим кризисом, резким подорожанием топлива. В настоящее время в термических цехах все еще применяется устаревшее оборудование. Длительная эксплуатация и не своевременный ремонт приводят к разрушению футеровки в отдельных местах и как следствие высокие потери энергии.

Целью данной работы является анализ тепловых потерь шахтной печи Ц-105 и разработка мероприятий по энергосбережению.

Исследование распределения температуры по каркасу печи показало, что температура изменяется в широких пределах от 70 до 450 °С. Высокая температура поверхности каркаса создает большой удельный поток тепловых потерь (q), который изменяется в пределах 1800-2600 Вт/м². Замена старой футеровки на керамоволокнистую и изменение конструкции крышки позволяют существенно снизить тепловые потери. Теплотехнический расчет показывает, что потери могут быть уменьшены в 2,5-5 раз (рисунок).



Удельный тепловой поток в различных частях печи до модернизации (q_1) и после модернизации (q_2).

Дашкевич В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Традиционное азотирование позволяет сформировать относительно тонкий, равномерно распределённый слой нитридов при относительно длительном периоде обработки. Поэтому вопросы интенсификации процессов низкотемпературного насыщения азотом поверхностных слоев и получения износостойких диффузионных слоев с особой морфологией слоя является актуальной научной задачей.

В задачах интенсификации химико-термической обработки основной акцент делается на ускорении тех стадий процесса, которые являются лимитирующими. Для ионно-плазменного азотирования, первые стадии реакции в среде и диффузии в среде не являются лимитирующими, поскольку на устоявшемся режиме обработки ионизированная газовая среда обеспечивает постоянный подвод насыщающего элемента к поверхности. В качестве лимитирующих стадий можно выделить, прежде всего, диффузию в основном металле и реакцию внутри него, т.е. реакцию с образованием твердых растворов или химических соединений.

Для ионно-плазменного азотирования выгоднее всего влиять, с целью интенсификации, на диффузию элемента в металл. Из рассматриваемых приемов интенсификации лишь немногие имеют потенциал активации именно этой стадии химико-термической обработки. Например, такая интенсификация может быть достигнута динамической обработкой (прошивкой) порошковыми частицами, которые формируют локальные зоны ускоряющие процесс диффузии атомов вдоль формирующихся каналов. В каналах от проникновения частиц обнаруживаются небольшое количество или следы исходных элементов композиции проникающей в структуру. Анализируемая плотность канальных зон в зависимости от участка обрабатываемого изделия для рассматриваемого варианта активации разная, выявляются участки с высокой и низкой полностью канальных зон с шириной и длиной, как правило, не превышающей 10 мкм и 30 мм соответственно.

В результате анализа микроструктуры образцов из стали X12M после предварительной активации рассматриваемым способом и последующего азотирования обнаруживается более компактный слой с нитридной зоной. Толщина получаемой зоны выше в сравнении с традиционным азотированием.

Высоковольтное электрохимическое оксидирование алюминиевых сплавов при ультразвуковом генерировании

Соколов Ю. В., Паршуту А. А., Степанова-Паршуту Е. А.
Белорусский национальный технический университет
ФТИ НАН Беларуси

Использование ультразвуковых колебаний при электрохимической обработке нанесения гальванических покрытий приводит к интенсификации осаждения, формированию плотных мелкокристаллических структур за счет гиперинтенсивного перемешивания электролита, снижению катодной поляризации и сдвигом электрохимического потенциала осаждения металла. В процессе анодного оксидирования алюминия в литературных источниках указывается и на негативное воздействие ультразвука на скорость формирования оксидной пленки, что связано с деполяризующим действием ультразвука с увеличением его интенсивности и ростом катодной плотности тока.

Проведение экспериментов осуществляли в ванне снабженной УЗ генератором рабочей частотой – 35 кГц и амплитудной модуляцией – до 90%. Процесс проводили при постоянной и импульсной подаче тока в электролите состава щавелевая кислота 40 г/л, метасиликат натрия 1 г/л остальное вода, при плотности тока обработки в диапазоне 1–5 А/дм², в течение 0,5 ч. Температура электролита 20 °С. Обработка проводилась на сплавах алюминия АМг2 и Д16.

Было установлено, что при ультразвуковом воздействии на электролит в процессе анодирования при плотности тока менее 3 А/дм² происходит как снижение толщины пленки на 10-30 %, так и микротвердости оксидных слоев на 20-30 %. Однако, превышение порога обработки свыше 3 А/дм² обеспечивает прирост толщины оксидной пленки и микротвердости на 30 и 20 % соответственно по сравнению с обработки без ультразвукового воздействия

Таким образом для получения значительного эффекта повышения физико-химических свойств формируемых оксидных слоев на сплавах алюминия требуется учитывать следующие факторы: амплитуда звукового давления, форму ультразвукового поля, температуру, состав и вязкость электролита. Однако, значительное влияние в процесс обработки вносит использования импульсной подачи тока в процессе оксидирования.

Сравнительная характеристика методов активации стальных поверхностей для термодиффузионного азотирования

Дашкевич В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Азотирование стали относится к современным процессам обработки стальных изделий с целью повышения износостойкости, коррозионной стойкости, предела выносливости и пр.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности азотирования является предварительная активация стальной поверхности различными методами, т. е. интеграция в технологию азотирования предварительной обработки способствующей интенсификации диффузии и модифицирования диффузионного слоя для повышения механических и эксплуатационных свойств.

Отметим наиболее характерные направления активации стальной поверхности для азотирования:

1) Обработка химическим и электрохимическим способом. Формирование химически активного состояния поверхности, например предварительное окисление;

2) Обработка механическим способом. Активация поверхности ударно-волновой обработкой, прошивка порошковыми частицами.

Оксидирование перед азотированием, представляет собой предварительную термическую обработку в печах, как правило, в печной атмосфере без подачи дополнительно кислорода в камеру, с целью получения оксидной пленки. В этом варианте активирования поверхности, как правило, предполагается формирование нанооксидного (субмикрoксидного) слоя толщиной до 1,0 мкм. Обработка эффективна, прежде всего, для азотирования в газовой среде, для ионно-плазменного азотирования такая активация не подходит. В развитии этой технологии, для газового азотирования, эффективным является также получение оксида меди (нано оксидной пленки оксида меди) на поверхности стали. Пленка оксида меди активизирует обмен ионов азота между нитридами меди (выполняющими роль каталитического покрытия) и стальной основой.

Для ионно-плазменного азотирования, где применяется очистка поверхности катодным распылением, эффективным является активация поверхности механическим способом, в частности прошивкой порошковыми частицами с формированием активных канальных зон.

Получение регулярных и нерегулярных дискретных термодиффузионных боридных слоев на сталях

Ситкевич М. В., Судников М. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время область применения термодиффузионных боридных слоев ограничена, прежде всего, высокими показателями хрупкости и низкой коррозионной стойкости. Решение этих проблем может лежать в различных плоскостях. Перспективным с точки зрения проблем снижения хрупкости представляется технология создания дискретных боридных слоев. Такой подход уже встречался в работах ряда ученых. В нашем случае рассмотрена концепция создания термодиффузионных слоев по следующей схеме – электроискровая обработка и последующее термодиффузионное борирование.

При совмещении двух технологических процессов упрочнения нужно учитывать применяемые материалы и образующиеся структуры. Для рассматриваемого случая, покрытия, формирующиеся при электроискровой обработке можно разделить на две группы: 1 – покрытия способствующие интенсификации процесса диффузии элемента, в нашем случае бора и 2 – барьерные покрытия, частично или полностью подавляющие процесс диффузии элемента вглубь изделия. Наиболее перспективным направлением сочетания рассматриваемой комбинации обработок является возможность получения регулярных покрытий состоящих из боридных участков обособленных друг от друга фрагментами электроискрового покрытия. В случае использования электроискровых покрытий второго типа появляются условия создания регулярных и нерегулярных дискретных боридных слоев, поскольку, формируется структура боридного слоя только на тех участках, которые не подвергались электроискровой обработке. Геометрически сочетание этих участков может быть достаточно разнообразным. Достаточно простым представляется получение, например полосчатой или сетчатой структуры.

По нашему мнению абсолютно непроницаемые электроискровые покрытия необходимости получать нет, в большинстве случаев речь должна идти о формировании структур преимущественно с электроискровым покрытием и структур с термодиффузионным боридным слоем. При формировании участков боридных игл, обособленных между собой фрагментами покрытия полученного электроискровой обработкой, предполагается частичная компенсация упругих деформаций и снижение хрупкости термодиффузионного боридного слоя на сталях.

О растворимости компонентов металлических систем

Менделеева О. Л.

Белорусский национальный технический университет

Согласно статистическим исследованиям растворимость в жидком состоянии возникает, если выполняется принцип химического соответствия компонентов, который хорошо коррелирует с энтропийным фактором. Локальные флуктуации химического потенциала в результате массопереноса и ассоциации новых связей, как правило, с увеличением доли жесткой ковалентной связи, приводят к росту энтропии. Временное изменение энтропии определяет условия, при которых флуктуации затухают. Полное отсутствие растворимости термодинамически не возможно. Ограниченная растворимость в жидком состоянии наблюдается при взаимодействии с переходными металлами и между собой электроположительных (IA-IIA) и электроотрицательных (IB-VB) химических элементов. Преобладание связей между частицами одного и того же компонента способствует расслоению жидких и твердых растворов. Вероятность расслоения увеличивает различие в величине поверхностного натяжения жидких фаз компонентов, а также близость температур плавления более тугоплавкого компонента и кипения более легкоплавкого компонента. В области расслоения обе фазы имеют идентичную структуру, но отличаются по химическому составу. Полная растворимость компонентов в жидком состоянии является необходимым, но не достаточным условием образования неограниченных твердых растворов замещения. Для их образования должен выполняться принцип не только химического, но и структурного, размерного соответствия компонентов, который обеспечит когерентную границу изоморфных кристаллов. При низких температурах в твердых растворах возможен разрыв в непрерывной растворимости при повышении степени порядка. В системах с твердыми растворами, растворимость зависит от соотношения температурного и размерного факторов, причем решающую роль играет размерный фактор. Граничные твердые растворы, также, как и промежуточные фазы, образуются как при любой растворимости компонентов в жидком состоянии. Для граничных твердых растворов внедрения возможность растворения металлоида, и пределы растворимости, определяет электронное строение металла. Все твердые растворы в области гомогенности являются ненасыщенными, а распределение частиц растворенного вещества описывается статистикой Ферми, что позволяет термодинамические функции твердого раствора.

Азотирование металлической колотой дроби в стационарной насыщающей среде

Щербаков В. Г., Одарченко В. И.

Белорусский национальный технический университет

Азотирование – вид химико-термической обработки (ХТО) сталей и чугунов, заключающийся в насыщении поверхностного слоя азотом при нагреве и выдержке в различных насыщающих средах в интервале температур 500–1200 °С. После азотирования сплавы приобретают на поверхности высокую твердость, низкую склонность к задирам и высокую сопротивляемость износу. Азотированный слой подвергают шлифованию и полированию. Различают два вида азотирования в различных средах: низкотемпературное (при температурах ниже 600 °С) и высокотемпературное (600–1200 °С). Традиционно для ферритных и аустенитных сталей, тугоплавких металлов применяют высокотемпературное азотирование. Для формирования диффузионного слоя на металлических дискретных материалах в виде стальной либо чугунной колотой дроби необходимо понижать температуру насыщения либо продолжительность обработки. В качестве исходных материалов для исследования использовали стальной песок СП-17 (14–17%Si, ост. Fe), фракцией 140–315 мкм и чугунную колотую дробь Grittal GM30 (1,9–2,1 % C; 30,0–33,0 % Cr), фракцией 315–630 мкм. В качестве поставщика азота при обработке использовали порошковую насыщающую среду, разработанную в НИЛ упрочнения стальных изделий Белорусского национального технического университета. Насыщение проводили в контейнерах из нержавеющей стали с использованием плавкого затвора. Температура обработки 540–560 °С, продолжительность 4–6 ч. После обработки сепарацию насыщающей среды и металлического сплава осуществляли с использованием сит различного размера и магнитного сепаратора. Анализ микроструктуры и микротвердости проводили по стандартным методикам. Установлено, что выбранная в заданных диапазонах температура насыщения и продолжительность выдержки практически не влияет на структурообразование диффузионного слоя в выбранных металлических дискретных материалах при азотировании в стационарных порошковых средах. Микротвердость исходным материалов составляет 8240–9460 МПа для СП-17 и 5720–7240 МПа для GM30. В стальном песке СП-17 после насыщения формируются диффузионные слои толщиной 10–25 мкм и микротвердостью 6420–7240 МПа. В чугунной дроби GM30 сформировались диффузионные слои толщиной 5–20 мкм и микротвердостью 7240–8240 МПа.

Опыт формирования диффузионных слоев на металлических порошках при стационарных режимах насыщения

Щербаков В. Г., Довыденков В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Химико-термическая обработка (ХТО) дисперсных материалов в виде дробы и стружки является перспективной технологией создания новых сплавов различного назначения. Традиционно при насыщении дискретных металлических отходов стремятся сформировать на поверхности каждой отдельной частицы диффузионный слой максимальной толщины, так как именно толщина слоя имеет непосредственное влияние на технологические и эксплуатационные свойства сплава. При использовании диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов для упрочнения и восстановления быстроизнашиваемых деталей данный подход оправдан и целесообразен, так как при формировании защитных покрытий, традиционно используют высокотемпературные методы обработки и в процессе формирования слоя происходит частичное либо полное расплавление сплава с последующей кристаллизацией. Однако, есть некоторые технические ограничения по использованию ДЛ сплавов с максимальной толщиной диффузионного слоя, когда на первое место ставятся не химический состав и свойства получаемого покрытия, а эксплуатационные свойства ДЛ сплава, например магнитная проницаемость и электрическое сопротивление. Известно, что при формировании диффузионных слоев на стальных и чугунных дискретных материалах, распределение углерода по сечению сплава изменяется. За счет роста диффузионного слоя концентрация углерода в подповерхностном слое и сердцевине возрастает за счет активных диффузионных процессов приводящих к перераспределению углерода по сечению сплава.

Таким образом, за счет изменения структуры приповерхностного слоя и сердцевины при диффузионном насыщении существенно снижаются и магнитные характеристики сплава. Проведенные работы свидетельствуют, что на кинетику формирования диффузионных слоев в стальных и чугунных сплавах основную роль играет температура и продолжительность процесса насыщения. Так при диффузионном насыщении бором в традиционных насыщающих средах за счет снижения температуры обработки до 700–750 °С формируются диффузионные слои толщиной 20–60 мкм и микротвердостью 12 000–15 000 МПа. При диффузионном насыщении азотом в порошковых средах за счет снижения продолжительности обработки до 4–6 ч на стальных и чугунных сплавах формируются диффузионные слои толщиной 10–40 мкм и микротвердостью 7 240–9 460 МПа.

Особенности структурообразования диффузионных азотированных слоев на сталях в условиях термоциклирования

Ткаченко Г. А., Ковальчук А. В.

Белорусский национальный технический университет

Циклическое воздействие на материал позволяет сформировать в металлах и сплавах мелкодисперсную микроструктуру и напряженно-деформированное состояние, которые обеспечивают условия ускоренной диффузии атомов внедрения и замещения.

Кинетика роста диффузионного слоя в стационарном процессе насыщения зависит, прежде всего, от температуры насыщения. Повышение температуры (450 °С) на каждые 50 °С дает увеличение толщины слоя на 0,1 мм за равный промежуток времени. Однако приводит к значительному снижению твердости слоя до 800 HV 0.1 (700 °С) за счет коагуляции нитридов диффузионного слоя и карбидов металлической матрицы.

При циклическом нагреве интенсификация диффузии осуществляется благодаря иным механизмам. Исследование кинетики формирования слоя проводили на стали марки 40Х по режиму термоциклического насыщения: нагрев до 550 °С с охлаждением до 300 °С, выдержка, количество теплосмен от 4 до 16.

Установлено, что диффузионное насыщение при количестве теплосмен менее 8 за 8 часов обработки, не оказывает значительного влияния на кинетику формирования слоя. Толщина слоя меньше на 0,05 мм, чем при стационарном процессе (0,2 мм).

Увеличение частоты теплосмен в единицу времени (от 8 и более) приводит к интенсификации диффузии, что обусловлено образованием растягивающих напряжений в слое, под действием которых происходит активное движение атомов в глубь металла. Толщина слоя больше на 10–20% от величины слоя, полученного в условиях стационарного насыщения.

Также не исключена причина интенсификации азотирования за счет периодического чередования циклов насыщения и «рассасывания» слоя. При интенсивном выделении азота из порошковой среды (550 °С) происходит насыщение, во время снижения температуры до 300 °С, создается значительный перепад концентраций на поверхности и в глубине металла для стимулирования диффузии.

Таким образом, интенсификация азотирования происходит за счет двухстадийности процесса: насыщение и рассасывание (деазотирование) при разной температуре циклического нагрева.

Перспективы термоциклической обработки при ионно-плазменном азотировании инструментальных сталей

Ткаченко Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что газовое азотирование сталей при традиционном печном нагреве один из самых длительных процессов диффузионного насыщения. Использование ионно-плазменной обработки позволяет снижать энергозатраты и временные показатели процесса.

В настоящее время сократить процесс азотирования до 4-5 часов традиционными методиками не представляется возможным в силу ограниченности скорости диффузии атомов азота в структуре основного металла. Значительной интенсификации диффузионных процессов можно достичь температурным воздействием на микроструктуру обрабатываемого материала, варьированием давления и составом насыщающей газовой среды.

Многофакторное воздействие на процесс азотирования заключается в периодическом чередовании циклов насыщения при проточном азотировании и рассасывании азотированного слоя при максимальном снижении насыщающей способности атмосферы.

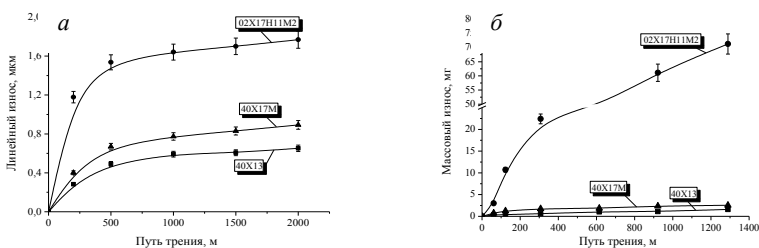
Циклическое азотирование инструментальных сталей следует проводить в температурном диапазоне от 470 до 520 °С, при давлении газа в рабочей камере от 25 до 150 Па с учетом постоянного соотношения компонентов насыщающей среды.

Установлено [1], что оперируя двумя параметрами процесса (температура и давление газа) можно достичь интенсификации формирования азотсодержащего слоя и в течение 2–3 часов получить толщину (не менее 0,2 мм) с высокой концентрацией нитридных фаз в троостосорбитной матрице.

Износостойкость газотермических покрытий из сложнолегированных сталей, напыленных с использованием высокоэнтальпийного газа МАФ

Григорчик А. Н., Астрашав Е. В., Сосновский А. В.
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Традиционно при высокоскоростной металлизации в качестве горючего газа используется пропан, продукты горения которого транспортируют расплавленные капли металла на обрабатываемую поверхность. Однако получаемые с использованием пропана газотермические покрытия характеризуются относительно невысокими прочностными свойствами. В связи с этим, целью данной работы являлось исследование триботехнических свойств газотермических покрытий, напыленных с использованием высокоэнтальпийного горючего газа МАФ. Результаты триботехнических испытаний газотермических покрытий представлены на рисунке.



Зависимости линейного (а) и массового износа (б) от пути трения газотермических покрытий, напыленных с использованием высокоэнтальпийного газа МАФ:

- а – испытания в среде смазочного материала И-20 при удельном давлении 50 МПа;
б – испытания в условиях сухого трения при удельном давлении 1,5 МПа

Из данных приведенных на рисунке можно видеть, что износостойкость газотермических покрытий из высокохромистых сталей на стадии установившегося трения (трение в смазочном материале И-20) приблизительно одинакова. В частности, интенсивность линейного изнашивания газотермических покрытий из сталей 40X13, 40X17M и 02X17H11M2 составляет $10,0$, $15,0$ и $15,5 \times 10^{-9}$, соответственно. Испытания газотермических покрытий в условиях сухого трения показали, что покрытия из мартенситных сталей 40X17 и 40X17M обладают повышенной износостойкостью по сравнению с покрытием из аустенитной стали 02X17H11M2. При этом интенсивность массового изнашивания покрытий из сталей 40X13, 40X17M и 02X17H11M2 составляет $1,00$, $1,15$ и $55,60 \times 10^{-3}$ мг/м, соответственно.

Фазовый состав нитроцементованного слоя на стали 09Х19Н9Т.

Борисов С. В., Стефанович А. В., Кукареко В. А.
Белорусский национальный технический университет

Коррозионностойкие аустенитные стали обладают низкой твердостью и износостойкостью. Повышение твердости поверхности можно достигнуть химико-термической обработкой (ХТО) стали, насыщением азотом-углеродом. Насыщение азотом-углеродом обеспечивает повышение твердости за счет формирования нитридов в диффузионном слое.

Насыщение азотом-углеродом проводилось на стали 06Х19Н9Т при температурах 600, 850 и 950 °С в течении 1–4 часов. В качестве образцов использовалась проволока диаметром 2 мм. При насыщении 600 °С формируются диффузионные слои толщиной, не превышающей 80 мкм.

Микроструктура слоя состоит из темнотравящейся зоны с твердостью 10 500–11 500 МПа. Повышение температуры ХТО интенсифицирует процесс насыщения. Так, при температуре 850°С и выдержке 1 час толщина слоя составляет 154 мкм, при выдержке 4 часа - 292 мкм. При 950°С формируются диффузионные слои толщиной от 248 до 440 мкм в зависимости от времени выдержки. Микроструктура диффузионных слоев, полученных при 850–950°С, по строению не отличается друг от друга и состоит из трех зон: внешний – темный, толщиной 25–70 мкм; средний – светлый, толщиной 80–190 мкм; внутренний – сильно травящийся, толщиной 30–180 мкм. Толщины зон определяются температурно-временными параметрами ХТО. Микротвердость данных зон составляет: внешней 5420–6180 МПа, средней – 5360–5720 МПа; внутренней – твердость плавно снижается от 4880 МПа до твердости сердцевины – 2030 МПа. Рентгеновский фазовый анализ установил следующий фазовый состав диффузионного слоя: легированные феррит α -Fe и аустенит γ -Fe; карбонитриды $M_3(C,N)$, $M_7(C,N)_3$ и оксид железа Fe_3O_4 .

Конструкция ванны для электрохимического оксидирования

Соколов Ю. В., Паршуту А. А., Хлебцевич В. А.,
Степанова-Паршуту Е. А.

Белорусский национальный технический университет
ФТИ НАН Беларуси

Применение нестационарных режимов в процессе анодного оксидирования с применением импульсных токов и ультразвукового воздействия (УЗ) дает возможность получать равномерные оксидные слои покрытия с высокими скоростями формирования. Однако, получаемые результаты во многом противоречивы и могут отличаться с результатами исследований полученными другими авторами.

Влияние УЗ на электрохимические процессы связано в первую очередь с кавитационными явлениями и интенсивным перемешиванием электролита. Поэтому применение ультразвука для процесса анодного оксидирования актуально и может приводить к формированию оксидных слоев с улучшенными физико-химическими характеристиками.

Проведение процесса анодного оксидирования может осуществляться при воздействии ультразвуковых колебаний посредством самой ванны и прямого воздействия на обрабатываемую деталь. Была разработана конструкция такой ванны для оксидирования (рисунок).

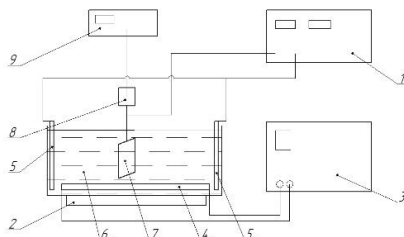


Схема установки для оксидирования при использовании УЗ генерирования:

1 – источник питания для оксидирования, 2 – ванна с ультразвуковым генератором, 3 – чиллер, 4 – змеевик охлаждения, 5 – катоды, 6 – электролит, 7 – деталь, 8 – УЗ генератор с креплением для детали, 9 – блок управления УЗ генератором для детали

Для различного типа режимов оксидирования, составов электролитов и их температуры необходимо подбирать соответствующие параметры ультразвуковых колебаний.

Повышение качества и совершенствование технологического процесса упрочнения пильных цепей

Пинчук В. А.

Белорусский национальный технический университет

Задачу повышения срока службы любого инструмента, его качества необходимо рассматривать со всех сторон: организационной, практической, технологической, экономической и др. точек зрения.

В работе анализировались особенности технологического процесса изготовления ленточных пил с целью повышения их качества и надежности. Для формирования правильного управляющего воздействия с целью повышения качества необходимо использование эффективных методов контроля продукции на всех этапах изготовления.

Анализ и систематизация полученных производственных данных проводились по количеству выявленных дефектов на различных стадиях производства. Был проведен статистический анализ по выявлению наиболее значимых факторов оказывающих влияние на качество пил. В частности, для ленточных пил наиболее дефектными оказались операции фрезерования ленты (19 %), термической обработки (34 %) и разводки (12 %). Это свидетельствует об ошибках в процессе производства и нарушении технологии производства.

В результате исследований установлено влияние дефектов основных операций производства на конечную стойкость инструмента.

В качестве рекомендаций по повышению качества и надежности пильных цепей за счет совершенствования технологического процесса предложено:

- внедрение метода экспресс-анализа для лучшего контроля продукции и своевременного выявления брака;
- разработка дополнительных инструкций по мониторингу качества на всех этапах технологического процесса, обучение персонала, повышение качества организации производственного процесса;
- технологическое улучшение процесса термической обработки ленточной пилы. Основной задачей улучшения технологического процесса является обеспечение равномерной структуры зерен и более равномерного прогрева зуба пилы по все площади и, соответственно, равномерной твердости при сохранении ее высоких значений.

Внедрение метода экспресс-анализа перед запуском партии показало свою эффективность, общее снижение количества брака при выпуске продукции составило 40 %.

Процесс нанесения композиционных покрытий на износостойкие материалы

Калиниченко В. А., Калиниченко М. Л.

Белорусский национальный технический университет

Повышение износостойкости деталей является одной из важнейших задач в машиностроении. Одним из способов реализации данной задачи является нанесение композиционных покрытий на поверхность изделий или их трущихся поверхностей из композиционных материалов. Как известно, композиты обладают более высокими механическими свойствами чем материалы из которых они состоят в отдельности. Объектом исследований был выбран композиционный материал на основе матрицы из бронзы и армирующим элементом из Ni-Fe сплава. Процесс синтеза данного материала сводился к следующим этапам: проводилась наплавка CO₂ лазером упрочняющей сетки из Ni – Fe сплава (рис. 1, а).



а

б

в

Образец покрытия из композиционного материала:

а – с нанесенной сеткой, *б* – зафлюсованный, *в* – с нанесенным бронзовым покрытием

Вторым этапом велась очистка и зафлюсовка образца (рис. 1, б), в нагревательной печи. И в заключение с помощью индуктора наносился слой бронзы (рис. 1, в).

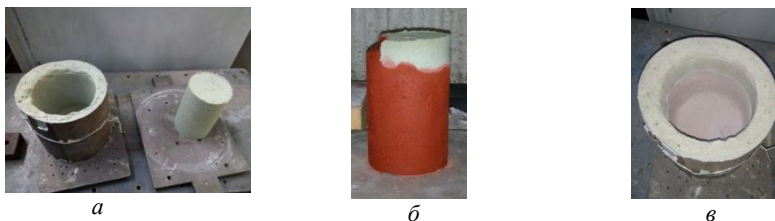
Как результат был получен слоистый композиционный материал толщиной около 500-600 мкм. После шлифовки полученного образца были проведены механические испытания для сравнения полученного материала со стандартным литым композиционным материалом. Как показали испытания свойства данного материала практически соответствуют заявленному аналогу, а именно коэффициент трения со смазкой – 0,06-0,10; выдерживаемое удельное давление – более 100 кг/см²; температура эксплуатации – до 300°С; обладает электрохимической стойкостью при работе с ответной парой трения из железосодержащих материалов.

Исследование различных типов литейных форм для заливки композиционных материалов

Калиниченко В. А., Зелезей А. Е.

Белорусский национальный технический университет

При синтезе макрогетерогенных композиционных материалов в качестве формы используются, как правило, графитовые и стальные формы. Преимущество первых является возможность многократного использования и относительно высокая стойкость (живучесть), а как не недостаток необходимо отметить весьма грязный процесс изготовления, связанный с высокой запыленностью. Что касательно металлических форм то в качестве преимуществ необходимо отметить высокую точность получаемых изделий и относительную простоту в изготовлении, при этом они являются одноразовыми, что повышает стоимость готовых изделий, и контроль качества возможен только после механической обработки последних. Для снижения себестоимости получаемого композиционного материала была поставлена задача разработки разовых форм для термического синтеза или разовых в многоразовой обечайке. Основной трудностью изготовления таких форм, является то, что в отличие от обычных литейных форм испытывающих только один термический удар в момент заливки, при синтезе форма изначально нагревается с шихтовыми материалами с последующей выдержкой в печи.



a

б

в

Форма для синтеза композиционного материала:

a – форма и стержень некрашенные, *б* – окрашенный стержень, *в* – окрашенная форма

Для решения данной задачи были изготовлены формы и стержни на основе кварцевого песка используя на основе алюмохромфосфата связующее (см. рис. 1). В качестве краски для стержня была использована краска на основе оксида железа, для формы на основе циркония. Проведенные испытания показали, что данный тип материалов имеет потенциал для использования при синтезе литых композиционных материалов, особенно при использовании матриц с невысокими температурами плавления. Однако данный процесс требует дополнительного изучения и доработки.

Вторичный алюминиевый сплав для производства автотракторных поршней

Андрушевич А. А., Богуславский А. К.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Литые поршни тракторных двигателей, в частности СМД-62 и др. изготавливаются из первичного алюминиевого сплава АК12ММгН (АЛ30В). Это легированный эвтектический силумин, который обладает, по сравнению с ранее применяющимся АЛ10В, значительно лучшим механическими свойствами при нагревании, с почти в 5 раз большим сроком эксплуатации отливаемых из него поршней. Первичные сплавы такого типа в РБ не производятся, но в агропромышленном комплексе образуется значительное количество изношенных поршней, которые идут на переплав на предприятиях Вторцветмета. В связи с этим целесообразно изучить возможности производства поршней автотракторных двигателей из вторичных сплавов на основе алюминия с такими же свойствами.

Переплав отходов поршней проводили в индукционной печи ИСТ-1,0 в графитовом тигле ТГ-150, при 760–780°C с последующим переливом вместе с флюсом в раздаточную печь. После заполнения печи проводили дегазацию расплава продувкой через газораспределительный элемент аргоном в течение 10 мин. Затем на поверхность сплава при температуре 720–740 °С насыпали просушенный флюс и выдерживали 10–20 мин. С целью получения мелкозернистой структуры такой сплав модифицировали, изменяя процесс эвтектической кристаллизации.

Приготовленный сплав заливали в кокиль, предназначенный для получения отливки поршня СМД – 62, с заливкой образцов диаметром 50 мм, и высотой 100 мм, для изучения загрязненности сплава окисными включениями по методу Добаткина.

Изучали модифицирующий эффект флюсов, состоящих из тех же солей, которые использовались для очистки сплава от вредных включений. Анализ полученных результатов, позволил рекомендовать следующий состав флюса, вес.: NaCl – 45; KCl – 25; NaF – 20; Na₃AlF₆ – 10 и технологические параметры модифицирования сплава АК12ММгН, полученного из отходов поршней: количество флюса, % от массы приготовленного сплава – 2%; температура модифицирования – 740–760°C; время обработки флюсом – 25 мин. Продолжительность сохранения модифицирующих эффекта 45–50 минут.

Исследования структуры и свойств вторичного сплава АК12ММгН, полученного из отходов показали, что они соответствуют требованиям ГОС-Та и условиям эксплуатации автотракторных дизельных поршней.

**Исследование влияния водной среды на прочностные свойства
склеенных пористых материалов**

Калиниченко М. Л., Долгий Л. П., Зелезей А. Е.
Белорусский национальный технический университет

Титан трудно скрепляемый материал, который часто используется в виде фильтров для очистки водной либо водно-песочной среды, как результат при изготовлении фильтрующих элементов адгезионными креплениями весьма актуальна проблема изучения водостойкости. Было исследовано влияния водной среды на адгезионную прочность современного клея компании 3М (США) DP8805NS. В качестве образцов были использованы заготовки пористого титана диаметром 27 мм (из порошка титана марки ТПП-4 с размером частиц 0,4–0,63 мкм) с подложкой из коррозионностойкой стали Х18Н9Т. Выбор адгезива, обусловлен его изначальными техническими характеристиками, т.к. он подходит для работы с металлами, а также для работы в среде, насыщенной водяными, масляными и другими парами, а также при наличии конденсата или избыточной влаги. [1].

Известно [1], что при склеивании пористого тела используют специальные промежуточные пленки, закрывающие поры. Было принято решение заменить это способ. Как результат эксперименты было решено проводить в два этапа. Вначале на пористое тело был нанесен и равномерно распределен по поверхности тонкий слой ранее указанного адгезива. После достижения полной полимеризации, адгезив был нанесен повторно, поверх первого слоя, с последующей склейкой с металлической подложкой. Во второй части эксперимента, образцы поместили в водную среду и выдерживали в течение 40 дней, показавшие наилучшие результаты ранее [1], подвергли испытанию на долговечность во влажной среде описанному в [2]. Было выявлено, что пористые образцы, которые не подверглись предварительной обработки, не выдерживают воздействия водной среды (разрушились). Образцы с предварительно нанесенным промежуточным слоем адгезива выдержали давление на разрыв 4,36 МПа (при сухих условиях такие же образцы показывают – 13,64 МПа). Что является удовлетворительным результатом.

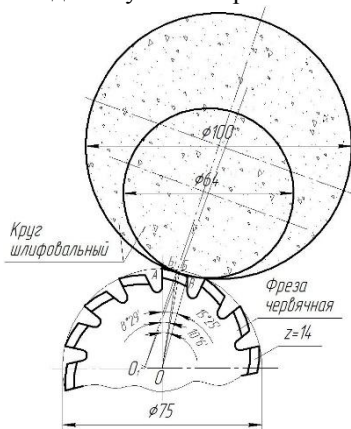
**Процессы
механической обработки
материалов и режущий
инструмент**

Оптимизация операции заточки «многозубых» затылованных червячных фрез

Ажар А. В.

Белорусский национальный технический университет

Анализ существующих технических решений выявил возможность увеличения длины фрезы и числа стружечных канавок. Большое число стружечных канавок сокращает время обработки, уменьшает износ и увеличивает число огибающих. С учетом ограничений на полезную длину зуба и минимальный объем канавки для цельных «многозубых» фрез возможно увеличение числа зубьев от 20 до 30. Однако увеличение числа зубьев вызывает проблемы при затыловании зуба по задней поверхности. Наиболее производительно затылование дисковым шлифовальным кругом, но обычно нельзя получить затылок, отшлифованный по всей ширине зуба, т.к. в конце рабочего хода шлифовальный круг может врезаться в соседний зуб и испортить его.



Подбор диаметра шлифовального круга

В этом случае оставляется 1/3 ширины зуба, которая не шлифуется, а затыловывается резцом со спадом затылка в 1,5 раза большим величины спада шлифованной части. Путем геометрических построений можно определить наибольший диаметр круга, который сможет отшлифовать зуб, не зарезав следующий. Например, для затылования червячной «многозубой» фрезы $\varnothing 75$ мм и числом зубьев 14 (рис.1), необходим круг $\varnothing 64$ мм, что снижает стойкость круга. Увеличивая диаметр круга до 100 мм, мы теряем в ширине затылка 10% (рисунок), что ведет к уменьшению возможного числа переточек по передней поверхности.

Доля увеличения диаметра круга и уменьшения ширины затылка напрямую не связаны, что дает возможность отступить от принципа обеспечения полной ширины затылка в условиях критичности малого диаметра круга. Оптимизация операции заточки фрезы на основе построения компромиссной двухпараметрической функции позволит подобрать необходимый диаметр круга при минимальных потерях стоимости эксплуатации червячной фрезы.

Анализ кинематики полигонального формирования профиля поверхности в виде треугольника Рело при обработке долблением

Данилов А. А.

Белорусский национальный технический университет

Полигональное формирование стороны треугольника Рело ABC в виде дуги AB окружности, радиус которой равен его ширине b , осуществляется производящей точкой M (вершиной режущего элемента), совершающей вращение $-B_1$ вокруг центра O этого треугольника и вращение B_2 с такой же угловой скоростью вокруг своей

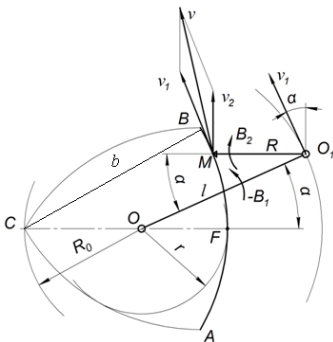


Схема к определению скорости движения профилирования треугольника Рело

же угловой скоростью вокруг своей оси O_1 по окружности радиусом R . Обозначим: r – радиус вписанной в треугольник Рело окружности; R_0 – радиус описанной вокруг его окружности; α – текущий угол поворота инструмента относительно заготовки и вокруг своей оси; $l = OO_1$; v_1 – линейная скорость центра O_1 вращения инструмента вокруг оси O ; v_2 – линейная скорость производящего элемента при вращении инструмента вокруг центра O_1 ; v – результирующая скорость производящего элемента относи-

тельно формируемой стороны треугольника Рело. Из рисунка, $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ или $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2\cos\alpha}$, где $v_1 = 2\pi ln$; $v_2 = 2\pi Rn$. Так как $l = b$, $R = \frac{b}{\sqrt{3}}$, то $v_1 = 2\pi bn$; $v_2 = 2\pi \frac{b}{\sqrt{3}}n$. Следовательно,

$$v = \sqrt{(2\pi bn)^2 + (2\pi \frac{b}{\sqrt{3}}n)^2 + 2 \cdot 2\pi bn \cdot 2\pi \frac{b}{\sqrt{3}}n \cos\alpha}. \quad (1)$$

Из (1) следует, что производящая точка M перемещается вдоль формируемой стороны AB треугольника Рело с переменной скоростью v , а для ее стабилизации изменение частоты вращения заготовки составляет приблизительно 3,3%, что практически не влияет на производительность. Следовательно, вращение заготовки в процессе обработки может осуществляться с постоянной скоростью, что существенно упрощает реализацию способа обработки деталей с профилем в виде треугольника Рело на универсальных зубодолбежных станках.

Топология поверхности с профилем в виде треугольника Рело при формировании методом прерывистого обката

Данилов А. А.

Белорусский национальный технический университет

Задача определения параметров топологии обработанной поверхности решена методами математического и компьютерного моделирования. На рисунке представлена схема полигонального формирования профиля стороны AB треугольника Рело – дуги окружности радиусом b при сообщении режущему элементу 2 с круговой режущей кромкой радиусом r_1 относительно неподвижной заготовки 1 двух вращательных движений $-B_1$ и B_2 с равными угловыми скоростями в соответствии со схемой обработки на зубодолбежном станке. Высота Δ остаточных гребней (не срезанной части припуска) определяется аналитически из схемы контакта круговой режущей кромки радиусом r_1 в двух соседних положениях с дугой окружности AB .

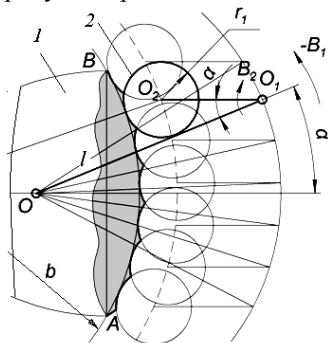


Схема формирования дуги окружности методом прерывистого обката

Расчетное значение $\Delta = \frac{s^2}{8} \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{r_1} \right)$, где

s – круговая подача, равная перемещению производящей окружности вдоль формируемой стороны треугольника Рело за один двойной ход инструмента. Величина круговой подачи задается при настройке станка в зависимости от допускаемой высоты гребней $[\Delta]$ по формуле

$$s \leq 2 \sqrt{\frac{2[\Delta]}{\left(\frac{1}{b} + \frac{1}{r_1}\right)}}. \text{ Эта зависимость позволяет обоснованно назна-}$$

чать круговую подачу s в соответствии с требуемой точностью профилирования поверхности.

Таким образом, при формировании поверхности с профилем в виде треугольника Рело круглым производящим элементом по методу прерывистого обката топология обработанной поверхности характеризуется стабильными по форме и высоте отклонениями от номинальной поверхности в виде не срезанной части припуска, что позволяет управлять качеством обработанной поверхности за счет параметров схемы профилирования.

**Совершенствование кинематических схем обработки
сложных поверхностей резанием**

Данилов В. А.

Белорусский национальный технический университет

Кинематическая схема обработки поверхности в значительной степени определяет кинематику, производительность, универсальность и другие показатели эффективности станка, поэтому синтез рациональных кинематических схем обработки является важной задачей его функционального проектирования. Значимость результатов этого этапа обусловлена тем, что допущенные здесь недостатки не могут быть устранены при конструировании и эксплуатации станка.

Синтез кинематической схемы обработки осуществляется исходя из геометрии и реализуемого метода формообразования заданной поверхности, формы и положения ее производящих линий, технологического метода обработки и включает следующие этапы:

- рациональное распределение функции формообразования между инструментальной и кинематической системами станка, определение структуры и задание параметров исполнительных движений;
- анализ возможных и выбор эффективных методов формообразования производящих линий поверхности, условий резания исходя из их формы, требований к точности формообразования и геометрии резания;
- оптимизация структуры исполнительных движений, например, путем исключения реверсивных и введения дополнительных движений, совмещения движений различного функционального назначения, задания рационального сочетания скоростей и направлений элементарных движений, образующих исполнительные движения.

Общими путями совершенствования кинематики формообразования поверхностей являются:

- перенесение функции кинематики формообразования на инструмент, что позволяет упростить конструкцию и настройку станка;
- введение дополнительных движений для создания эффективных условий резания, формирования определенного микрорельефа обработанной поверхности;
- обеспечение возможности регулирования скоростей движений для оптимизации режима резания, стабилизации качества обработки и др.

На основе изложенного разработаны и реализованы признанные изобретениями способы обработки различных сложных поверхностей – винтовых переменного шага, с зубчатым и многогранным контуром и др.

Двухпрофильный контроль зубчатых передач¹Дечко Э. М., ²Антонюк В. Е., ³Русецкий В. Н.¹Белорусский национальный технический университет²Объединенный институт машиностроения НАН РБ³БЕЛАЗ

Для зубчатых колес степеней точности от 5 до 12 включительно и диаметром до 1000 мм при контроле норм плавности хода используются колебания измерительного межосевого расстояния (ИМР) по ГОСТ 1643–81 [1]. ИМР является наиболее распространенным параметром в серийном производстве для производственного контроля зубчатых колес. При использовании межцентромера типа МЦ-400 контролеру необходимо визуально фиксировать на индикаторной головке одновременно четыре измеряемых параметра и фиксировать за один оборот зубчатого колеса колебания стрелки индикаторной головки на каждом зубе. Для группы зубчатых колес авто- и тракторостроения ($m = 3–10$ мм, $\varnothing 125–400$ мм, степень точности 6–8) значения измеряемого колебания ИМР на одном зубе f_i'' составляют 18–45 мкм. На межцентромерах типа МЦ-400 используются, в основном, индикаторные головки с ценой деления 10 мкм. В результате они пропускают как годные зубчатые колеса с превышением отклонением колебания ИМР до 25–30% [1, 2].

Отечественные приборы двухпрофильного контроля с электронными линейками с ценой деления 0,5 мкм и оценкой результатов контроля по принципу «годен-негоден» Минского ПКТИ не получили применения и одобрения изготовителей зубчатых колес, так как значительная часть зубчатых колес, признанная годными при контроле на МЦ-400, на приборах ПКТИ признавались негодными [3]. Отсутствие решений по разделению результатов измерения зубчатого колеса от точности самого прибора является одной из причин технологического отставания отечественных изготовителей зубчатых передач. В какой-то мере альтернативой является контроль на измерительных машинах (КИМ). Сравнение затрат на контроль зубчатых колес приборами двухпрофильного контроля и КИМ показывают, что производительность контроля с использованием прибора для двухпрофильного контроля ИМР в 10–50 раз превышает производительность контроля на КИМ при почти в 18 раз меньших затратах на средства измерения.

Повышение теплостойкости металлорежущих станков

Якимович А. М.

Белорусский национальный технический университет

Теплостойкость станка характеризует его сопротивляемость возникновению недопустимых температурных деформаций при действии источников теплоты (процесс резания и работа двигателя). Для значительного повышения теплостойкости станков – используют системы охлаждения. Повышение теплостойкости станка заключается в уменьшении перегрева его основных элементов. Одним из основных элементов современного станка является шпиндельная бабка, для обеспечения нормального охлаждения которой, в отливке корпуса шпинделя выполняют отдельную охлаждающую рубашку, окружающую шпиндель. СОЖ циркулирует по данной кольцевой рубашке, обеспечивая отвод тепла, выделяемого шпинделем и тем самым сводя к минимуму температурную деформацию корпуса. В связи с тем, что СОЖ контактирует со всеми частями зоны обработки, соответственно снижается температура станка в целом, что способствует обеспечению требуемой точности обработки.

Кроме жидкостного охлаждения, с целью дополнительного улучшения температурной стабильности станка, применяют воздушный тип охлаждения, при котором корпус шпинделя изолируется, и увеличивается прохождение воздушного потока через данный узел, в результате чего холодный воздух поступает в станок с задней стороны, после обтекает шпиндель и выходит вверх, по направлению от шпиндельной головки, но если присутствует необходимость в сухой обработке, то для поддержания постоянной температуры шпинделя, необходимо дополнительно установить внешний холодильный агрегат.

Для повышения теплостойкости приводов подач выполняют в винте ШВП сквозное осевое отверстие, в котором расположена охлаждающая трубка, через которую циркулирует СОЖ и охлаждает винт ШВП вместе с его опорами. Важную роль в повышении теплостойкости станка имеет система смазывания, которая должна обеспечивать периодическую подачу к трущимся поверхностям смазочного материала в количестве, достаточном для того, чтобы между этими поверхностями сохранилась непрерывная пленка смазки, с целью снижения температуры данных поверхностей до установленных пределов.

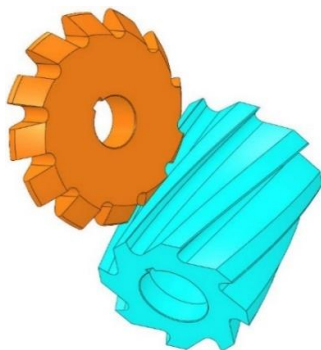
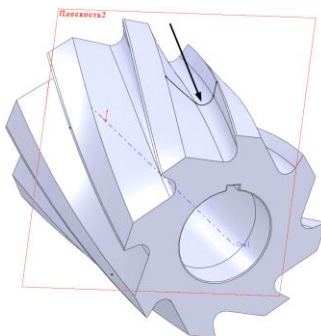
САПР фасонных фрез

Колесников Л. А.

Белорусский национальный технический университет

При изготовлении корпусов металлорежущих инструментов необходимо разработать также фасонные фрезы для обработки винтовых стружечных канавок. Проектирование таких инструментов требует достаточно высокой квалификации и весьма трудоемко. При этом любая коррекция основного инструмента требует повторения всего цикла проектирования фасонной фрезы. Качественно упростить процесс проектирования фасонных фрез позволяет использование 3D-моделирования. При этом геометрия основного инструмента служит основой (репликой) для создания адаптивной фасонной фрезы (рис. 1, *а*). Это означает, что любое изменение геометрии основного инструмента автоматически приводит к изменению геометрии фасонной фрезы.

Для формирования 3D-модели фасонной фрезы для нарезания винтовых стружечных канавок создается вспомогательная плоскость, перпендикулярная стружечной канавке цилиндрической фрезы (плоскость 2 на рис. 1, *б*). Посредством стандартной команды строится линия пересечения этой плоскости со стружечной канавкой (показана стрелкой на рис. 1, *б*) и достраивается до контура сечения будущей фасонной фрезы. Далее посредством стандартных средств 3D-моделирования строится корпус фасонной фрезы, в котором виртуально нарезается необходимое количество зубьев, посадочное отверстие и т. д. (см. рис. 1, *а*).

*а**б*

Проектирования фрезы по реплике поверхности

**Исследование влияния источников технологического тока
на сплошность и разнотолщинность покрытий, полученных
электромагнитной наплавкой пастами**

¹Миранович А. В., ²Мрочек Ж. А., ³Счастный Д. В.

¹Белорусский государственный аграрный технический университет

²Белорусский национальный технический университет

³ОАО «Минский тракторный завод»

Цель работы – исследование влияния источников технологического тока (ИТТ) на сплошность и разнотолщинность покрытий, полученных электромагнитной наплавкой (ЭМН) специальными пастами на установке модели УНП-1. Изучались два варианта компоновочных схем электромагнитной системы (ЭМС): электромагнит (ЭМ) и сварочный выпрямитель трансформаторного типа (модель ВД-306), ЭМ и сварочный источник инверторного типа (модель Invertec V270 T). Питание ЭМ осуществлялось однофазным выпрямленным током по двухполупериодной мостовой схеме, ИТТ – трехфазным током промышленной частоты. При этом наплавка на образцы (пластины размерами 100×65×7 мм из стали 45 ГОСТ 1050–88) выполнялось на следующем режиме: плотность разрядного тока $i = 2,2 \text{ А/мм}^2$; рабочий зазор – 2,0 мм; подача пасты (смеси ферропорошка (Fe-2%V ГОСТ 9849–86 и эпоксидной смолы ЭДП (ТУ 2395-001-49582674–99), растворенной в растворителе марки 646 ГОСТ 18188–72 – $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ г/(с}\cdot\text{мм}^2)$); величина магнитной индукции в рабочем зазоре – 1,2 Тл; размер частиц ферропорошка – 240 мкм. Стабильность исследуемых параметров качества формируемых покрытий определялась коэффициентом вариации по формуле: $k_{\text{и}} = \sigma_i / M(\Pi_i)$,

где σ_i – среднеквадратичное отклонение отдельного результата измерения i -го исследуемого параметра; $M(\Pi_i)$ – математическое ожидание параметра (среднее арифметическое значение экспериментов \bar{x}). Статистическая оценка экспериментальных значений исследуемых параметров показала, что значения коэффициентов вариации сплошности $k_{\text{вГ}}$ и разнотолщинности $k_{\text{вР}}$ покрытий соответственно на 29,3 и 18,9 % меньше для инверторного ИТТ модели Invertec V270 T, чем для сварочного выпрямителя модели ВД-306.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы: типы ИТТ, используемых в установке УНП-1, оказывают влияние на стабильность процесса наплавки, сплошность и разнотолщинность покрытий; наиболее стабильному процессу ЭМН на установке с электромагнитной системой, состоящей из электромагнита и ИТТ модели Invertec V270 T, соответствует минимальное значение коэффициентов вариации исследуемых параметров.

Исследование трещинообразования в покрытиях, полученных электромагнитной наплавкой пастами

¹Миранович А. В., ²Мрочек Ж. А., ³Счастный Д. В.
¹БГАТУ; ²БНТУ; ³ОАО «Минский тракторный завод»

В работе исследовалось трещинообразование на поверхности и в покрытиях, полученных электромагнитной наплавкой (ЭМН) на установках с магнитными системами (МС) на электромагнитах (ЭМ) и постоянном магните (ПМ), с помощью микроскопа Meф-3. В качестве количественного критерия принималась удельная длина трещин на поверхности покрытий из пасты (смеси различных ферромагнитных порошков (ФМП) и связующего – эпоксидной смолы ЭДП и органического растворителя марки 646) площадью 1,0 мм².

Установлено, что для покрытий, полученных наплавкой на установке ЭМН с МС на ПМ, характерно наличие небольшого количества поперечных микротрещин, находящихся в покрытии и локализованных в пределах капель расплава частиц ФМП. При этом покрытия имеют различную удельную длину трещин (см. таблицу). Так, покрытия, полученные наплавкой на установке ЭМН с МС на ПМ, имеют удельную длину трещин в пределах 27,0–53,0 мкм/мм², а покрытия, полученные наплавкой на установке ЭМН с МС на ЭМ, имеют удельную длину трещин в пределах 37,0–93,0 мкм/мм². Удельная длина трещин уменьшается в 1,37–1,89 раза, что объясняется неодинаковой длительностью сохранения жидкой фазы в процессе кристаллизации капель расплава ФМП.

Установлено, что снижение удельной длины трещин до минимума достигается при следующем режиме ЭМН: плотность разрядного тока $i = 2,1$ А/мм²; величина РЗ $\delta = 2,0$ мм; скорость подачи $S = 0,15$ мм/об; расход пасты $q = 2,75 \cdot 10^{-3}$ г/с·мм². На этих режимах ЭМН пасты из различных ФМП удельная длина трещин не превышала 14–25 мкм/мм².

Трещинообразование покрытий, полученных ЭМН пастой из различных ФМП

Параметр	Материала ФМП					
	Fe-2%V	Fe-Ti	ФБХ-6-2	Fe-2%V	Fe-Ti	ФБХ-6-2
	ЭМН на установке с ЭМ			ЭМН на установке с ПМ		
Удельная длина трещин, мкм/мм ²	37,0	74,0	93,0	27,0	53,0	49,0

Защитно-декоративные свойства титановых плазменно-вакуумных покрытий

¹Мрочек Ж. А., ¹Иванов И. А., ²Кармажи Х.
¹Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь
²Аль Завия университет, Ливия

На восполнение потерь от коррозии металла ежегодно расходуется шестая часть его производства, поэтому целесообразно потратить средства на защиту от коррозии еще при изготовлении машины, чем потерять в 8–10 раз больше на ремонтно-восстановительные работы. Было установлено, что коррозионная стойкость поверхности изделий из малоуглеродистой стали может быть повышена при осаждении титановых покрытий с использованием плазменно-вакуумной металлизации.

Покрытия осаждали с помощью электродугового испарителя на образцы из стали 08 кп, поверхность которых была холоднокатаной с шероховатостью $Ra = 1,1$ мкм, шлифованной ($Ra=0,9$ мкм) и полированной ($Ra = 0,12$ мкм). После обезжиривания поверхности в органических растворителях образцы подвергали ионной очистке, температура их в этом случае достигала 400–450 °С. Конденсацию покрытий со скоростью 0,3–0,35 мкм/мин проводили при ускоряющем отрицательном потенциале 120 В и токе разряда 110 А.

Коррозионные испытания проводились при температуре 24–27 °С, в растворах хлористого натрия (3%), азотной (10%) и уксусной (50%) кислот и щелочи (30%), концентрация которых выбиралась с учетом наименьшей коррозионной стойкости в них нержавеющей стали X18H10T. Установлено, что при толщине покрытия свыше 6 мкм скорость коррозии стали уменьшается независимо от шероховатости поверхности.

В солевом и азотнокислом растворах скорость коррозии вначале увеличивается (40–50 часов контакта с электролитами), а затем уменьшается. При одинаковых толщинах покрытия скорость коррозии в азотнокислом растворе в 5 раз выше, чем в солевом.

В рассматриваемых электролитах покрытие не растворяется, не меняет первоначальный внешний вид, что вызвано ускоренной пассивацией титана и образованием защитной пленки в присутствии воды и ионов хлора. В 30% растворе щелочи за первые 120 часов контакта с электролитом не обнаружено изменение массы образцов, покрытие постепенно темнеет, а затем появляются очаги коррозии. В 50% растворе уксусной кислоты образцы с покрытием более 6 мкм за 150 часов испытаний не меняли массу, первоначальный цвет и блеск.

**Экономика
и организация
машиностроительного
производства**

Концепция создания информационно-логистической системы на промышленном предприятии

Бутор Л. В.

Белорусский национальный технический университет

Основными проблемами на пути к развитию промышленных предприятий являются: нестабильность внешней среды, неспособность конкурировать с зарубежными производителями и отсутствие современного инструментария по сглаживанию негативного влияния изменений внешней среды на производственно-хозяйственную деятельность. К таким инструментам следует относить организацию и внедрение логистической системы в рамках предприятия. Эта система обеспечивает управление движением материальных и информационных потоков на предприятии, ее функционирование дает предприятию дополнительные конкурентные преимущества, позволяет повысить показатели рентабельности и организационно-экономической устойчивости.

Решение задачи информационно-логистического обеспечения подразумевает разработку программного обеспечения, поддерживающего движение информационных потоков, необходимых для принятия и реализации логистических решений.

Работа информационно-логистической системы будет осуществляться следующим образом. Все физические (логистические) процессы на предприятии фиксируются и заносятся базы данных. С помощью специального программного обеспечения информация обрабатывается, распространяется и поступает для обработки менеджерам различных уровней, а также для сотрудников.

Особенностями такой системы являются:

- высокая скорость передачи информации;
- высокая степень защищенности данных;
- уменьшение в разы отставания информационных потоков от материальных;
- легкость управления логистическими процессами и их корректировки;
- возможность модификации и преобразования схемы.

Такая система поможет снизить затраты и издержки на логистическую деятельность промышленных предприятий, а также способствует получению дополнительного эффекта на базе эффективной системы управления логистикой.

**Перспективы использования интегрированного планирования
для управления интегрированной системой логистики
промышленного предприятия**

Бутор Л. В.

Белорусский национальный технический университет

За последние несколько лет содержание логистики как науки и как направления деятельности предприятий существенно изменилось, и из вспомогательного средства обеспечения отдельных хозяйственных процессов она превратилась в мощный инструмент организации и ведения бизнеса в целом. На современном этапе новым подходом является управление на принципах интегрированного логистического подхода.

Интегрированное планирование для управления интегрированной системой логистики промышленного предприятия представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов, протекающих как внутри самого предприятия, так и за его пределами, обеспечивающих планирование с ключевыми потребителями (поставщиками) предприятия на всех уровнях движения основных и дополнительных потоков. Под основными элементами процесса планирования понимаются:

- звенья цепи поставок, в рамках которых происходит движение потоков сырья, незавершенного производства и готовой продукции;
- уровни планирования – период, в течение которого планируется реализация плана закупок, производства, отгрузок, продаж и т. п. Наиболее распространенной практикой является составление операционных (на 3 года и более), тактических (поквартальное планирование) и стратегических планов (от недели до нескольких месяцев).

Основными факторами, обуславливающими потребность интегрированного планирования цепей поставок, являются:

1. Формулирование единой стратегической цели.
2. Создание единой системы критериев оценки деятельности участников цепи поставки.
3. Обособленная логика принятия решений.
4. «Эффект хлыста» (ситуация, при которой незначительные изменения спроса конечного потребителя приводят к значительным отклонениям в планах других участников цепи поставок (подрядчиков, поставщиков и т. д.) чаще всего из-за плохого качества прогнозов и несогласованности планов участников цепи поставок.

Маркетинговые коммуникации для социально значимой продукции

Глубокий С. В., Дударчик А. С.

Белорусский национальный технический университет

Маркетинг социально значимой продукции постоянно требует внедрения новых решений на стратегическом (управленческом), оперативном (тактическом) и операционном (бизнес-процессном) уровнях, связанных с активным использованием высоких информационных технологий и искусственного интеллекта.

Особенностью построения маркетинговых коммуникаций для социально значимой продукции является то, что идущие по ним сообщения должны быть нацелены не только на целевые аудитории массового рынка (ЦАМР), нуждающиеся в ней, но и на целевые аудитории корпоративного рынка (ЦАКР), которые могут выступить в качестве спонсоров ее производства.

При этом на оперативном и операционном уровнях свойство активности маркетинговых коммуникаций (доступности по определенным причинам, чаще всего финансовым) следует считать уже достаточно консервативным, также как и свойство реактивности (аналогичность действиям приоритетных конкурентов).

В качестве прогрессивных свойств маркетинговых коммуникаций необходимо рассматривать интерактивность (построенность на взаимодействии с ЦАМР и ЦАКР) и проактивность (инициирование, создание и поддержка коммуникации самими ЦАМР и ЦАКР).

В системе маркетинговых коммуникаций для социально значимой продукции, ориентированных на ЦАМР, наиболее отвечают этим свойствам такие инструменты как телевидение и радио, массовые газеты и журналы, наружная и транзитная (внутри и снаружи транспортных средств) реклама, электронные каталоги и интернет-магазины, диджитал-прейскуранты и прайс-листы, виртуальная рубричная и макетная е-реклама, социальные сети и «сарафанное радио», рекламные игры.

В системе маркетинговых коммуникаций для социально значимой продукции, направленных на ЦАКР наиболее отвечают этим свойствам такие инструменты как отраслевые интранет- и экстранет-ресурсы, онлайн- и телеконференции, электронные бизнес-карты и телемаркетинговые базы данных, специализированные вебинары и дистанционные тренинги, сетевые гайды и путеводители, профессиональные интерактивные игры и мастер-классы, интерактивные и проактивные опционы, корпоративные и представительские промосайты, а также торговые интернет-площадки.

Прогрессивные формы вознаграждения труда специалистов по маркетингу и сбыту

Глубокий С. В., Липлянин А. О.

Белорусский национальный технический университет

Низкие показатели сбыта продукции отечественных предприятий нередко обусловлены отсутствием материальной заинтересованности сотрудников подразделений маркетинга и продаж в конечном результате их работы. Традиции привязки расходов на рекламу, маркетинг и сбыт к размерам выручки с НДС сохраняются со времен существования перечня затрат, включаемых в себестоимость продукции, работ услуг и процентного рекламного бюджетирования. Отмененные ныне нормы расходования средств на рекламу, маркетинговые, информационные и консультационные услуги, представительские цели используются как своеобразные ориентиры при процентном рекламном бюджетировании в тех или иных секторах экономики:

– 2% от выручки с НДС (с 1994 г.) – для крупного бизнеса и тяжелой промышленности;

– 5% от выручки с НДС (с 2002 г.) – для малого и среднего бизнеса и легкой промышленности;

– 7,5-22,5% от выручки с НДС (с 2006 г.) – для отдельных видов деятельности (въездной туризм, театрально-зрелищные и концертные организации и др.).

Однако если применять на практике процентное рекламное бюджетирование, то для мотивации маркетингового персонала следует делать привязку расходов на рекламу и маркетинг не к выручке (B), а к более стимулирующим показателям: прибыли ($\Pi = B - C$), добавленной стоимости ($ДС = B - MЗ = \Pi + Z_{пл} + A$), чистой добавленной стоимости ($ЧДС = B - MЗ - A = \Pi + Z_{пл}$), реальному доходу ($РД = B - MЗ - Z_{пл} = \Pi + A$). Это мотивирует сотрудников отделов маркетинга и сбыта к росту прибыли (Π) за счет оригинальных ценовых решений и развитию финансового потенциала организации; привлечению высококвалифицированных высокооплачиваемых специалистов, что сказывается на росте фонда заработной платы организации ($Z_{пл}$) и способствует развитию интеллектуального потенциала организации; модернизации и техническому перевооружению оборудования и нематериальных активов, что сказывается на росте амортизационных отчислений (A) и способствует развитию производственного потенциала организации.

Планирование работ конструкторского бюро по проектированию новой техники машиностроительного предприятия

Ефимчик Е. В.

Белорусский национальный технический университет

План научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (план НИОКР) – документ, регламентирующий на машиностроительном предприятии перечень выполняемых работ и сроки конструкторской подготовки производства новой техники.

Основной проблемой составления плана НИОКР является субъективное установление плановых сроков технической подготовки производства каждой новой модели техники, и, как следствие, сроков ее конструкторской подготовки. Сроки устанавливаются субъективным волевым решением руководства предприятия по результатам обсуждения с конструкторскими и технологическими подразделениями (при заинтересованности последних в более длительных, чем реально необходимо, периодах для выполнения работ по новой машине).

В дальнейшем начальники конструкторских бюро (КБ) сами решают в какой последовательности осуществлять работы над новыми моделями техники, включенными в план НИОКР. В первую очередь при этом КБ стремятся проектировать машины наиболее выгодные им с точки зрения трудоемкости работ, новизны и имеющихся у КБ наработок.

Для ликвидации вышеперечисленных негативных моментов формирования плана НИОКР и планов-графиков работы КБ необходимо:

1. Создать нормативную базу трудоемкости конструкторских (а в перспективе и технологических) работ по новой технике.

2. Ввести классификационную группу коммерческой значимости для каждого конкретного вида новой техники, включаемого в план НИОКР: наиболее прибыльная и важная для предприятия новая техника 1-й группы коммерческой значимости, далее идет техника 2-й и 3-й групп коммерческой значимости. По группам коммерческой значимости необходимо устанавливать очередность, приоритетность и сроки создания новых моделей машин, что позволит максимизировать финансовый результат предприятия на перспективу.

Оптимизация план-графика работы конструкторского бюро машиностроительного предприятия

Ефимчик Е. В.

Белорусский национальный технический университет

Наличие норм численности и норм трудоемкости конструкторских работ позволяет оптимизировать планы-графики работы конструкторских бюро (далее КБ). Алгоритм оптимизации представлен в таблице.

Таблица

Алгоритм оптимизации плана-графика КБ-машин
(принятые в таблице сокращения: М1г; М2г; М3г – машины 1-й, 2-й и 3-й групп коммерческой значимости)

Очередность включения в план	Новая техника, включаемая в план-график КБ на плановый период	Ограничения при составлении план-графика КБ
1	М1г, проектирование которых начато, но не окончено КБ	1) соблюдение контрольных сроков окончания этапов (комплексов) работ по машинам КБ; 2) загрузка ежемесячная: – ответственного по машинам КБ – 100% – 170%; – других конструкторов КБ – 100%-130%
2.	М1г, начало проектирования которых в плане НИОКР приходится на плановый период	
3.	М2г, проектирование которых начато, но не окончено КБ	
4.	М1г и М2г, сроки проектирования которых сорваны КБ или под угрозой срыва	
5.	М3г, проектирование которых начато, но не окончено КБ	
6.	М2г, начало проектирования которых в плане НИОКР УГК приходится на плановый месяц	
7.	М3г, начало проектирования которых в плане НИОКР УГК приходится на плановый месяц	
8.	Инициативные машины КБ, не включенные в план УГК	

**Разработка санационного механизма
промышленного предприятия Республики Беларусь**

Зеленковская Н. В.

Белорусский национальный технический университет

В практике хозяйствования и управления существует широкий спектр стратегий разных как по направленности, так и по основополагающей методологии. В рамках процедуры экономической несостоятельности разрабатывается стратегия санации, в основе которой заложено как общее развитие предприятия, так и конкретизация факторов и направлений развития.

Автором разработан алгоритм выбора стратегии санации, который включает следующие этапы:

Этап 1. Определяется уровень экономической несостоятельности. Стратегия санации определяется для предприятий, которые являются экономически несостоятельными и для тех, которые находятся в скрытой стадии экономической несостоятельности. Применение санационных мероприятий для предприятий, которые являются условно экономически состоятельными необходимо для предотвращения банкротства.

Этап 2. Определяется уровень благоприятности факторов внешней среды. От благоприятности и стабильности факторов внешней среды зависит выбор основной стратегии санации предприятия. При благоприятной и стабильной внешней среде для предприятия необходимо применять стратегии направленные на дальнейшее развитие и расширение рынков сбыта, при прочих условиях применяются сдерживающие стратегии, которые направлены на снижение затрат предприятия при оптимальном использовании его ресурсов.

Этап 3. Выбираются стратегии санации. Подходят стратегии для предприятий: экономически несостоятельных – стратегия сокращения, санационного управления и диверсификационного роста; в скрытой стадии экономической несостоятельности – стратегия санационного управления, диверсификационного и интенсивного роста.

Для реализации стратегии санации необходим выбор методов и мероприятий, направленных на достижение основных целей санации. Ключевыми критериями эффективности выбора методов санации являются: соответствие нормативу коэффициента текущей ликвидности; соответствие нормативу коэффициента покрытия предстоящих затрат.

Зеленковская Н. В.

Белорусский национальный технический университет

Вывод предприятия из экономической несостоятельности требует разработки проекта санации, включающего план санации с выделением мероприятий направленных на восстановление финансово-хозяйственной деятельности предприятия. В качестве обобщающего критерия, определяющего выбор метода санации, в настоящее время используется показатель эффективности, характеризующий соотношение доходов санации к затратам на ее организацию и проведение. Для повышения качества расчетов эффективности санации значение дохода дисконтируется. Однако данный подход рассматривает эффективность санации только относительно интересов собственника.

Автором разработан подход, учитывающий выгоду всех участников санации (собственник, персонал предприятия, кредиторы, государственные органы). Данный подход объединяет как количественные, так качественные показатели эффективности санации и включает пять этапов.

Первоначально рассматривается соответствие направлений санации ее основной цели. Затем рассчитывается срок реализации и срок окупаемости санации. Далее оценивается сумма затрат, необходимая на проведение национальных мероприятий по разным направлениям деятельности предприятия, то есть суммарные затраты на санацию. Для оценки вклада каждого из участников санации рассчитывается структура затрат на организацию и проведение санации. Следующий этап включает оценку ожидаемого суммарного экономического эффекта от организации и проведения санации по этапам санации и по всем участникам санации. На последнем этапе оцениваем эффективность санации. Показатель эффективности санации предлагается определять, как отношение ожидаемого суммарного экономического эффекта к сумме суммарных затрат на организацию и проведение санации и кредиторских выплат. Данный критерий позволит измерять прогресс в процессе реализации санации.

Таким образом, предложен методологический подход к выбору эффективных способов санации, промышленного предприятия, основанный на сопоставлении суммарного прироста выгоды по всем лицам заинтересованным в результатах проведения санации и суммы затрат, расходуемых на организацию и проведение санации. Он дает возможность перейти от качественной оценки эффективности санации к количественной.

Экономическая эффективность повышения стойкости инструмента

Иванович А. И.

Белорусский национальный технический университет

Экономическую эффективность повышения стойкости инструмента можно определить по следующей формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_T + \mathcal{E}_{об},$$

где \mathcal{E}_T – величина экономии за счет снижения технологической себестоимости; $\mathcal{E}_{об}$ – величина экономии за счет сокращения величины оборотного фонда инструмента.

Величина экономии за счет снижения технологической себестоимости определяется по формуле

$$\dot{Y}_0 = \frac{N \cdot t_{i\dot{a}0}}{(n+1) \cdot t_{\dot{n}0\dot{a}} \cdot (1-\eta)} \cdot \ddot{O}_a - \frac{N \cdot t_{i\dot{a}0}}{(n+1) \cdot t_{\dot{n}0\dot{a}} \cdot (1-\eta)} \cdot \ddot{O}_i,$$

где \dot{C}_0, \dot{C}_n – соответственно цены инструмента до и после упрочнения; $t_{ст0}$ и $t_{стn}$ – соответственно стойкость инструмента между переточками до и после упрочнения, мин; n – число допустимых переточек данного инструмента; $t_{маш}$ – машинное время обработки одной детали, мин (принимается по заводским данным); η – коэффициент случайной убыли для данного инструмента, N – количество деталей для обработки, шт.

Величина $\mathcal{E}_{об}$ определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{об} = U_{об\text{ баз}} \cdot \dot{C}_0 - U_{обн} \cdot \dot{C}_n,$$

где $U_{об\text{ баз}}, U_{обн}$ – величина оборотного фонда соответственно до и после упрочнения, шт.

Основная составляющая цехового оборотного фонда определяется по формуле

$$Z_k = Z_{рм} \cdot T_3 / 2t_{ст} + PM/D,$$

где: Z_k – количество инструмента в ИРК; $Z_{рм}$ – количество инструмента на рабочих местах; T_3 – период обмена затупленного инструмента на заточенный; P – период времени, необходимого для пополнения запасов ИРК с ЦИС; M – месячный расход инструмента данного типоразмера; D – число рабочих дней в месяце.

**Экономическая безопасность и эффективность:
соотношение и противоречия**

Ивашутин А. Л., Новицкая М. А.

Белорусский национальный технический университет

Проблема обеспечения экономической безопасности предприятия на сегодняшний день является его неотъемлемой частью. Соотношение между экономической безопасностью и эффективностью сложное и противоречивое. Для управления и тем и другим одновременно требуется высокая квалификация менеджеров. Причин тому несколько. Экономическая безопасность находится в обратной зависимости от рисков, а попытка снизить риски, как правило, приводит к снижению эффективности. Повышение экономической безопасности, при прочих равных условиях, тоже приводит к таким же результатам. Однако между этими понятиями существуют не только обратные, но и прямые зависимости.

Повысить экономическую безопасность можно максимально ограничивая бизнес от внешней среды: использовать, преимущественно, внутренние ресурсы, потребляя при этом максимум готовой продукции владельцами бизнеса и работниками. В этом случае на бизнес будут воздействовать лишь общесистемные риски. Но при этом и результативность будет незначительной из-за необходимости использовать универсальные технологии на всех стадиях бизнес-процесса.

Альтернативой является максимальное использование разделения труда, например, в виде покупки ресурсов у специализированных поставщиков. Это повысит эффективность, и часть результатов труда можно будет реализовать внешним потребителям. Но и первое, и второе увеличивает зависимость бизнеса от внешней среды, т.е. экономическая безопасность снизится. Поиск оптимальных соотношений между внутренними и внешними бизнес-технологиями и является сложной задачей для менеджеров.

Проблема оптимизации проявляется и в определении объемов финансовых резервов, которые, с одной стороны, повышают безопасность, а с другой, снижают результативность бизнеса в краткосрочном периоде. В долгосрочном же периоде связь может быть и прямой, например, из-за уменьшения вероятности банкротства под воздействием форс-мажорных обстоятельств.

Внедрение в систему управления автоматических стабилизаторов (гибких условий договоров с поставщиками ресурсов, банками и потребителями готовой продукции) с целью уменьшения отрицательных последствий возможной волатильности в бизнесе также требует оптимизации.

Инновационные методы управления качеством продукции

Карпенко В. М.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Одной из наиболее эффективных методик в области планирования качества является структурирование (развертывание) (Quality Function Deployment – QFD).

Структурирование функций качества – это метод структурирования нужд и пожеланий потребителя через развертывание функций и операций деятельности по обеспечению на каждом этапе жизненного цикла проекта создания продукции такого качества, которое бы гарантировало получение конечного результата, соответствующего ожиданиям потребителя.

Согласно методу СФК требования потребителя надлежит развертывать и конкретизировать поэтапно – от прединвестиционных исследований до предпродажной подготовки.

Основным инструментом СФК является таблица, получившая название «дом качества» (Quality House). В ней отображается связь между фактическими показателями качества (потребительскими свойствами) и вспомогательными показателями (техническими требованиями).

Примерный порядок – построения дома качества [1]:

1. Первым этапом является применение опросных методов для выяснения потребительских предпочтений в отношении продукции, т. е. необходимо разработать анкету – вопросник и проанализировать ее данные.

2. Далее для установления рангов характеристик (свойств) продукции необходимо воспользоваться органолептическим, расчетным и, от части, экспертным методом (пример – методика Лифица).

3. Все полученные данные заносятся в матрицу «дома качества» и выстраиваются связи между характеристиками продукта, ожиданиями потребителей (в отношении продукта) и технологическими процессами производства продукции.

Использование данного метода в практике отечественных промышленных предприятий позволит не только сделать процесс управления качеством более эффективным, но и изменить саму философию управления качеством.

Инновационная восприимчивость промышленного предприятия

Карпенко Е. М.

Белорусский государственный университет

Объективная необходимость наращивания темпов инновационного развития предприятий отечественной промышленности делает актуальной задачу выработки целостных подходов к управлению базовыми параметрами инновационной деятельности таких предприятий. Ключевым из этих параметров является инновационная восприимчивость предприятий, выражающая их способность быстро и эффективно реализовывать разнообразные инновационные разработки и обеспечивать, за счет этого, более высокие конечные результаты своего функционирования.

Оценка показала, что на сегодняшний день как продуктовая, так и техническая форма инновационной восприимчивости являются реально значимыми инструментами экономической адаптации промышленных предприятий региона к динамике рыночной среды.

Во-вторых, проведенный анализ позволил выявить высокую значимость рыночной конкуренции как фактора, определяющего уровень и динамику инновационной восприимчивости проанализированных предприятий. Для обеспечения своей эффективности процесс управления инновационной восприимчивостью предприятия должен охватывать два управленческих контура (стратегический и тактический (обеспечивающий текущую реализацию принятой стратегии)), которые должны быть логически взаимосвязаны и совместно формировать условия для максимально результативного выполнения инновационных разработок.

В-третьих, ресурсные факторы в настоящий момент играют весьма ограниченную роль в обусловливании инновационной восприимчивости промышленных предприятий региона и, следовательно, основные усилия по повышению уровня такой восприимчивости на тактическом уровне управления ею должны быть сконцентрированы на оптимизации факторов экономического взаимодействия участников инновационных процессов. Базовыми направлениями такой оптимизации должны стать: выбор оптимальной конфигурации структурных параметров предприятий, интенсификация и рационализация их внешних кооперационных взаимодействий, наращивание и структурная оптимизация интеллектуальных ресурсов предприятий, а также повышение уровня мотивации их персонала к инициативному участию в реализации инновационных проектов.

Алгоритм проектирования кластерной структуры

Комина Н. В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс проектирования кластера целесообразно начинать с выявления наиболее перспективного направления экономической деятельности. Для этого различные отрасли проверяются на соответствие рыночному объединяющему фактору.

Затем предприятия выбранного направления проверяются на наличие объединяющих факторов, потому что, несмотря на перспективность всего направления, отдельные компании могут не соответствовать условиям включения в кластер. В этом случае, анализируются причины, которые могли бы изменить ситуацию и усилить действие объединяющих факторов на данном предприятии, которое включается резерв проектируемого кластера.

После первоначального отбора субъектов хозяйствования, проектируются связи между ними, и оценивается экономическая эффективность кластера.

Принципиальное отличие предлагаемого алгоритма от существующих, состоит в том, что первоначально отбираются предприятия, которые способны использовать преимущества кластера для повышения эффективности своей деятельности, а лишь затем проектируются связи между ними и оценивается экономическая эффективность. Большинство существующих подходов к проектированию агломератов сводятся к попытке моделирования хозяйственных связей между предприятиями, не учитывая наличие или отсутствие объединяющих факторов, без которых кластер не может быть эффективным и устойчивым.

То есть существующие подходы к проектированию кластеров, практически, игнорируют, необходимость наличия высокой организационной культуры на предприятии и мотивации к поиску новых средств повышения эффективности производства. Предприятия рассматриваются как совокупности оборудования, технологии, транспорта и площадей. Предполагается, что достаточно объявить выбранные предприятия кластером и они будут вести себя как кластер. Но этого не происходит.

В предложенном алгоритме выбираются предприятия и компании, которые готовы к кластерным отношениям и которых изменение рыночной ситуации стимулирует к созданию кластеров. Для этого отбираются предприятия соответствующие объединяющему фактору синергии и рыночному фактору.

Индикаторный подход для включения субъектов в проектируемый кластер

Комина Н. В.

Белорусский национальный технический университет

Для включения субъектов в проектируемый кластер предлагается индикаторный подход, при котором нет необходимости находить абсолютные значения экономических показателей, что может быть очень затруднено. Например, при оценке рыночного фактора невозможно точно предсказать изменения на рынке и поведение основных конкурентов. Подобная модель была бы слишком сложна, содержала бы множество эмпирических коэффициентов и внутренние данные по конкурирующим компаниям, которые невозможно получить. Но главное – рыночная неопределенность обязательно сделает эти расчеты неточными. Поэтому предлагается использовать для оценки индикаторы изменений, которые легко рассчитать. Например, изменение коэффициента привлекательности рынка отражает степень его неустойчивости и наличие положительных тенденций для анализируемого субъекта хозяйствования. Кроме того, при индикаторном подходе отпадает необходимость учитывать все факторы и все коэффициенты, если оцениваются не абсолютные значения определенных параметров, а тенденции их изменений. Так качество управления организацией выражается множеством показателей и определяется большим количеством факторов. Но достаточно выявить только один или несколько показателей, связанных с качеством управления, чтобы по их изменениям судить об общем изменении уровня менеджмента в компании.

Различия аналитического (традиционного) и индикаторного подхода к выбору предприятий в проектируемый кластер представлены в таблице.

Аналитический подход	Индикаторный подход
Необходимо выразить через уравнения основные зависимости параметров друг от друга в изучаемом явлении	Достаточно выразить одну, характерную зависимость
При изучении экономических систем необходимо определить, на основе статистических данных, множество коэффициентов	Нет необходимости определения коэффициентов, если индикатором является изменение одного из параметров
Для оценки, необходимо учитывать все последствия изучаемого явления	Достаточно учитывать одно следствие изучаемого явления, если оно проявляется синхронно с другими

Оценка влияния факторов внешней среды на уровень добавленной стоимости предприятия

Короткевич Л. М., Барсуков А. А.

Белорусский национальный технический университет

В рамках продолжения предыдущего тезиса предлагаем методику анализа добавленной стоимости на основе существующих двух подходов к ее расчету и оцениванию: «прямой и обратный», или с позиции производства или сбыта [1]. На 1-м этапе она рассчитывается как сумма заработной платы, налогов и отчислений с заработной платы, амортизации и прибыли – оказывают влияние внутренние факторы, действующие на предприятии, при этом факторный анализ может проводиться с помощью способа цепных подстановок или долевого участия. На 2-м этапе исчисляется по всем осуществляемым видам экономической деятельности, как объем производства продукции (работ, услуг) в отпускных ценах за вычетом начисленных налогов и сборов из выручки минус материальные затраты (без учета платы за природные ресурсы) и прочие затраты, состоящие из арендной платы, представительских расходов и услуг других организаций – оказывают влияние внешние факторы (инфляция, изменения в корзине валют, доля импортного сырья и комплектующих), при этом факторный анализ может проводиться с помощью способа цепных подстановок. На 3-м этапе осуществляется выбор для анализа стратегических зон хозяйствования (СЗХ). 4 этап – это проведение SWOT/TOWS-анализа, который отличается от обычного SWOT-анализа наличием количественных экспертных оценок и большей точностью. 5 этап заключается в выборе, оценке и анализе частных показателей интенсивности роста добавленной стоимости по выделенным СЗХ. 6 этап – оценка и анализ комплексного показателя интенсивности роста добавленной стоимости. 7 этап – выбор и анализ частных показателей оценки управления производственным процессом. 8 этап – оценка и анализ комплексного показателя управления производственным процессом. Девятый этап – построение матрицы позиционирования на основе комплексных показателей оценки управления производственным процессом и интенсивности роста добавленной стоимости, интерпретация полученного результата.

Оценка влияния факторов внутренней среды на уровень добавленной стоимости предприятия

Короткевич Л. М., Барсуков А. А.

Белорусский национальный технический университет

В рамках оценки эффективности функционирования процесса возникает вопрос выбора критериев эффективности и методики анализа. Первый вопрос был рассмотрен в предыдущей статье и выбрана добавленная стоимость, ее же анализ рассмотрим далее [1].

Был проведен анализ существующих методик, в которых присутствует добавленная стоимость – можно выделить 3 основных блока. Первый основывается на методике анализе добавленной стоимости процесса с разделением последнего на этапы, которые необходимо отнести к одной из трех категорий: добавляют реальную стоимость, добавляет стоимость для организации (business value), никакой стоимости не добавляет (авторы Майк Робсон, Филип Уллах и др.). Второй основывается на методике эффективности бизнес-цикла на основе добавленной стоимости (авторы Панков Д. А., Кухто Ю. Ю.). Данная методика перегружена большим количеством показателей и излагается с позиции бухгалтерского учета. Третий основывается на факторном анализе добавленной стоимости, который предлагает Грачёв А. В. Целью данного анализа является отражение влияние элементов добавленной стоимости на итоговую величину, а затем ее влияние на другие приростные показатели, что позволяет посмотреть на добавленную стоимость с позиции влияния внутренней среды. Более подробно будет изложено в следующем тезисе.

Риски инновационной деятельности

Костюкевич Е. Н.

Белорусский национальный технический университет

Согласно Закону Республики Беларусь о государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь N 425-3 от 10 июля 2012 г. под **риском инновационной деятельности (РИД)** понимается вероятность недостижения цели инновационной деятельности, в том числе цели инновационного проекта.

В инновационной сфере почти всегда существует вероятность недостижения целей проекта, как с технической точки зрения, так и с точки зрения его коммерциализации. Эта особенность инновационной деятельности тормозит привлечение частных инвестиций, а неудача при реализации проекта влияет на эффективность привлеченных в эти проекты бюджетных средств, которые могут быть потрачены безрезультатно или с низкой отдачей. Важно вовремя обнаружить возникновение рисков событий, так как именно на основе этих данных и будет воплощаться инновационный проект. На сегодняшний день отсутствует общий классификатор рисков инновационных проектов, не до конца изучены факторы возникновения, оценки, способы предотвращения РИД. Особенность РИД связана со следующими факторами: множественность и сложность природы проявления рисков; множественность критериев систематизации рисков; взаимоисключаемость задач участвующих в принятии решений экономических агентов проекта; сложность отнесения риска к определенной категории; неповторимость и уникальность набора рисков по различным проектам и стадиям одного и того же проекта при вариабельности их во времени и пр. Кроме инновационных, классификатор РИД должен учитывать традиционные риски инвестиционных проектов, банковские риски при финансировании инновационных проектов. Вместе с тем, эксперты отмечают ряд типичных факторов риска, присущих отечественным НИОКР: неполнота и незавершенность описания продвигаемых разработок, несоответствие цены и качества, некачественная проработка юридических аспектов, необязательность исполнения взятых обязательств. Правильно идентифицировать риск – уже полдела для успешного процесса оценки и установления оптимального метода управления риском. Эти особенности должны дополнить существующие подходы к классификации РИД и избежать упущений, когда исследование сводится к анализу факторов, связанных исключительно с финансовыми рисками.

Концепция реальных опционов в оценке инновационных проектов

Костюкевич Е. Н.

Белорусский национальный технический университет

Концепция реальных опционов (Real Option Valuation, ROV) возникла около 30 лет назад как инструмент управления проектными рисками. Анализ ROV расширяет методику DCF (дисконтированного денежного потока) и придает гибкость управленческому решению на основе появившейся информации, что особенно актуально для инновационных проектов, подверженных значительной неопределенности, цена которой возрастает от стадии к стадии. Справедливая стоимость инновационного проекта будет складываться из величины NPV и стоимости ROV. Реальный опцион выступает как право, но не обязанность принять управленческое решение по одному из сценариев относительно реального актива по predetermined цене в будущем. Метод ROV основан на методике расчета финансовых опционов, хотя таковым не является. Различают: PUT опцион – на сокращение и на выход из проекта, при его убыточности; CALL опцион – на развитие проекта при благоприятном развитии проекта; опцион на переключение (на другую технологию, на новый рынок, на иной вид и объем деятельности); опцион на отсрочку инвестиций при неопределенном спросе; сложные опционы – сочетание разных опционов, стоимость которых зависит от исполнения других опционов. Для лучшего понимания основных принципов анализа с помощью ROV и выработки сценария развития проекта, необходимо изучить различия между финансовым и реальным опционом. Рассмотрим основные из них: 1) цена опциона – для первого определяется на фондовом рынке, а для реального опциона – она может не иметь фиксированной величины (например, стоимость патента во времени); 2) цена исполнения – для первого это цена базового актива, по которой он покупается или продается при исполнении опциона, а для второго – стоимость покупки или продажи базового реального актива (стоимость получения прибыли от новой технологии – цена исполнения CALL, а стоимость продажи производственных активов – цена исполнения PUT); 3) дата исполнения – для первого дата завершения срока опциона определяется заранее в контракте, для второго – может быть определена заранее (например, дата изысканий), а может и нет (например, проекты НИОКР, проекты по коммерциализации инноваций – подвержены временной и др. неопределенностям); 4) сроки платежа – для первого сразу же после исполнения опциона, а для второго часто существует временной лаг.

Маркетинговые исследования на промышленных предприятиях

Куневич О. В.

Белорусский национальный технический университет

Проблемы, возникающие у предприятий и фирм Республики Беларусь, во многом связаны с тем, что компании столкнулись с явлением: предлагаемая ими продукция не пользуется спросом, а как ее «продвигать» на рынок специалисты не знают. Проанализировав внутренние и внешние условия рынка, товар, потребителей, конкурентов фирма сможет улучшить свое положение, укрепится на рынке, наладить связи с потребителями, достичь определенных целей: увеличить доход, получить прибыль, рост объема сбыта и соответственно производства. В итоге это поможет существовать и действовать в условиях рынка. Наиболее действенным инструментом изучения рынка являются маркетинговые исследования.

Маркетинговые исследования являются одним из мощнейших инструментов принятия маркетинговых решений руководством той или иной компании. В конечном счете, именно маркетинг является той отраслью знаний, которая позволяет прогнозировать и просчитывать будущее фирмы. С помощью маркетинговых исследований ее владелец получает ответы на главные интересующие его вопросы: Какой товар предлагать? Кому продавать? Как продавать?

Маркетинговые исследования позволяют узнать действующих в данном сегменте рынка игроков – конкурентов, досконально изучить их ценовую политику, выявить слабые стороны «врага» и позаимствовать накопленный им положительный опыт. В современной высоко-конкурентной бизнес-среде любая, даже небольшая, компания вынуждена соблюдать главное правило маркетинга: «Изучай потребности покупателей и удовлетворяй их».

Маркетинговые исследования обеспечивают связь организации с рыночной средой. Маркетинговое исследование предполагает идентификацию необходимой информации, ее сбор, анализ и интерпретацию с целью оказания содействия менеджменту в понимании рыночной среды, определении проблем и привлекательных возможностей, разработке программ маркетинговых мероприятий и оценке результатов их выполнения. Процесс управления маркетингом состоит из следующих этапов: анализ ситуации, разработка стратегии, разработка маркетинговой программы и ее реализация. На каждом из этих этапов требуется принятие ряда решений; для поддержки процесса принятия решений необходима информация, источником которой служат маркетинговые исследования.

Направления цифровой трансформации предприятия

Лавренова О. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время производственные предприятия традиционных отраслей «старой экономики», таких как машиностроение, энергетика, нефтехимия и другие, стремятся решать проблему повышения производительности труда в рамках технологических преобразований четвертой промышленной революции («Индустрии 4.0»).

Одним из ключевых понятий четвертой технологической революции бесспорно является «цифровая трансформация», которая затрагивает каждый аспект ведения бизнеса: от исследования рынка и организации маркетинговых исследований до каналов взаимодействия с потребителями и поставщиками. По сути цифровая трансформация меняет подходы к ведению бизнеса и организации производства [1]. Исследования демонстрируют, что наиболее оперативно отреагировали на вызовы «Индустрии 4.0» компании «потребительских» отраслей: производство потребительских товаров, туристический бизнес, здравоохранение, средства массовой информации. Такие компании подвергаются дигитализации оперативно и масштабно благодаря активному внедрению в бизнес-процессы мобильных приложений, облачных технологий, технологий геолокации, аналитики больших данных и других инструментов «Индустрии 4.0».

Изучение опыта цифровизации передовых зарубежных компаний позволяет сделать вывод, что цифровая трансформация идет в следующих направлениях [2]:

1. Изучение потребителей и моделей их поведения.
2. Инновации в продуктах и услугах.
3. Новые бизнес-модели и эко-системы.
4. Автоматизация бизнес-процессов предприятия по всей цепочке создания ценности: от маркетинга и производства до управления персоналом и офиса.

Инструменты цифровой трансформации предприятия

Лавренова О. А.

Белорусский национальный технический университет

Технологические преобразования в рамках концепции «Индустрия 4.0» требуют от предприятий оперативной адаптации к новым условиям, совершенствования своих бизнес-процессов и внедрения инструментов, которые позволят не только накапливать, но и эффективно анализировать массивы данных. Тем не менее, по оценкам экспертов DuPont более 70% всех данных, сгенерированных предприятием, не используется [1]. В связи с этим актуальной задачей является изучение уже накопленного опыта цифровой трансформации, анализ применяемых инструментов цифровизации и результатов, достигнутых на передовых предприятиях.

Цифровая трансформация меняет подходы к ведению бизнеса на всех этапах, включая маркетинговые исследования, научные исследования и проектирование, производство, организацию взаимодействия как с поставщиками, так и с потребителями. Исследование показало, что основу цифровизации составляет анализ больших данных, а технологически все инструменты можно условно объединить в следующие группы: моделирование и виртуальной реальности; искусственного интеллекта и машинного обучения; инфраструктурные инструменты организации производства. В качестве базовых рассматриваются мобильные и облачные технологии, аддитивные технологии, интеллектуальные датчики, интернет вещей и машинное обучение. Как отмечают эксперты, основные сложности цифровой трансформации связаны с недостатком квалифицированных специалистов и вопросами безопасности [2].

Тем не менее успешная цифровая трансформация, как совокупность преобразований, включающих в себя внедрение корпоративной инновационной культуры, киберфизических систем и систем обработки больших данных, возможна при внедрении четких стандартов безопасности данных.

Формирование системы мотивации работников на предприятии

Насонова И. В.

Белорусский национальный технический университет

Современный этап развития рыночной экономики диктует необходимость создания в организациях действенного механизма мотивации труда, обеспечивающего повышение эффективности деятельности, при одновременном наиболее полном учете интересов всех работников. Поэтому целесообразно усовершенствовать действующую систему премирования, основанную на оценке труда, и разработать положение, предусматривающее начисление премий за достижение высоких результатов труда конкретными членами трудового коллектива. Наиболее сложно такую систему разрабатывать для специалистов, чей труд и его результаты сложно измеримы. В основу формирования этой системы оценки и премирования положены два принципа: удовлетворенность внешнего и внутреннего клиента; работника лучше награждать, чем штрафовать. Показателями оценки деятельности являются: отсутствие нареканий со стороны клиентов в целом; отсутствие нареканий со стороны клиентов на работу организации в целом и на конкретного сотрудника; своевременность выполнения работ; оценка деятельности руководства со стороны работников; оценка деятельности работников со стороны руководства. Предлагаемая система премирования позволит обеспечить выполнение важнейшей функции премий – мотивационную. Таким образом, в рамках совершенствования системы стимулирования работников **необходимо** обеспечить их заинтересованности в области внедрения инноваций и повышения производительности труда:

– предоставление льгот, связанных с графиком работы: предоставление работникам предприятия гибких условий и режимов труда, возможно создание «банка нерабочих дней», когда перспективному сотруднику выделяется некоторое «методических» дней в году, которые сотрудник может использовать для выполнения работы в библиотеке или на дому;

– использование вознаграждений признательности: фотография на Доске почета, упоминание в средствах информации, публичные вознаграждения грамотами, введение нагрудного знака;

– вознаграждения, связанные с изменением рабочего места: меры, ведущие к росту технической оснащенности рабочего места перспективного сотрудника и совершенствованию его эргономики;

– вознаграждения, связанные с ростом компетенций сотрудников путем их обучения за счет предприятия, т.е. работники получают признание и осознание своей значимости, а руководитель – рост профессионализма работников.

Оценка эффективности работы предприятия

Плясунков А. В., Гильнич Т. А.

Белорусский национальный технический университет

Оценка эффективности работы предприятия – это деятельность, выявляющая: достигнутый и возможный уровни развития; результаты работы предприятия; пути повышения эффективности работы предприятия. Эффективность работы предприятия предлагается оценивать на основе такого показателя, как рентабельность собственного капитала. Рентабельность собственного капитала определяется отношением величины чистой прибыли к стоимости собственного капитала.

Оценка эффективности работы предприятия находит конкретное количественное выражение во взаимосвязанной сбалансированной системе показателей, характеризующих эффективность использования основных элементов производственного процесса. Интегральным показателем системы выступает рентабельность собственного капитала, на рост которого оказывает влияние изменение чистой прибыли и собственного капитала. Собственный капитал находится под влиянием заемного капитала и актива предприятия. В свою очередь, чистая прибыль определяется: выручкой от реализации продукции, которая зависит от конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя; затратами на производство и реализацию продукции, которые зависят от эффективности управления затратами; налогами из выручки и прибыли от реализации продукции, которые зависят от законодательства в области налогообложения, и от умений специалистов управлять налогами.

Таким образом, мы можем провести оценку: свершившихся событий; плановых, уже выявленных мероприятий; возможностей прогнозного уровня развития предприятия. Оценочная деятельность, которая выявляет пути повышения эффективности работы предприятия, требует выявления цели, выбора стратегии, определение ряда показателей, которые безошибочно укажут методы и ресурсы, необходимые для роста прибыли и рентабельности конкретного предприятия с его индивидуальными особенностями и его состоянием на момент оценки.

Вывод: успешная деятельность отражает, то равновесие в управлении окружающими факторами внешней и внутренней среды и ресурсами предприятия, которое определяется резервом возможностей специалистов предприятия. Быть более успешным на рынке в сравнении с другими предприятиями возможно за счет повышения квалификации, развития и обучения всех сотрудников предприятия.

Пути повышения эффективности работы предприятия

Плясунков А. В., Гильнич Т. А.

Белорусский национальный технический университет

В сложившейся экономической ситуации эффективность означает выживаемость предприятия, его конкурентоспособность. Предприятие должно не только выживать, но и повышать уровень своей деятельности и улучшать конечный результат работы - прибыль.

Проблеме эффективности уделяется большое внимание. Эффективность в экономической теории определяется исходя из поставленных целей, как функция достигнутых результатов и затраченных на это ресурсов. То предприятие, которое более эффективно использует свои ресурсы, будет более успешным на рынке в сравнении с другими предприятиями.

Одним из направлений повышения эффективности работы предприятия является повышение квалификации сотрудников. Во многом благодаря высокой квалификации сотрудников их работоспособности, их навыков и умений, предприятие достигает высоких результатов и справедливо утверждение «кадры решают все». Поэтому для успешной деятельности предприятию необходимо повышать квалификацию сотрудников. Повышение квалификации сотрудников ведёт к улучшению самых разных бизнес-процессов, повышению качества продукции, снижению её себестоимости, а это, в свою очередь приводит к тому, что наша продукция становится более конкурентоспособной по сравнению с продукцией конкурентов.

Повышение конкурентоспособности продукции ведёт к тому, что клиенты становятся более довольными нашей продукцией, что приводит к росту продаж. Рост продаж, в свою очередь, приводит к тому, что повышаются прибыль предприятия, рентабельность продукции, рентабельность активов и рентабельность собственного капитала, а также другие финансовые показатели. В свою очередь рост таких показателей, как рентабельность активов и рентабельность собственного капитала, говорят о повышении эффективности работы предприятия.

Таким образом, оценка эффективности работы предприятия позволит обосновать, разработать и внедрить такие мероприятия, которые приведут к повышению эффективности работы предприятия.

Дефиниция понятия цифровая экономика

Сахнович Т. А.

Белорусский национальный технический университет

Термин цифровая экономика ввел в 1995 году американский информатик, основатель медиа-лаборатории Массачусетского технологического института (MIT Media Lab) Николас Негропонте (Negroponte N. Being Digital / N. Negroponte. – NY : Knopf, 1995.). Это понятие связано с интенсивным развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), началом процесса информатизации второго поколения, что по мнению многих является основой формирующегося VI технологического уклада. Однако до сих пор содержание этого понятия остается размытым.

Под экономикой принято понимать хозяйственную деятельность общества, а также совокупность отношений, складывающихся в системе производства, обмена, распределения товаров и услуг. Производственной системой является система, состоящая из средств и предметов производства, производственных процессов и рабочей силы, совместное функционирование которых позволяет изготавливать продукцию или оказывать услуги. Производительной силой выступает совокупность средств производства и людей.

Под цифровой экономикой следует понимать такую экономику, в которой в качестве производственного комплекса, производственной системы, создающей продукты и услуги, обеспечивающей жизнь и удобство людей выступает киберфизическая система. Киберфизическая система – это система, состоящая из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, где материальная часть мира интегрирована с виртуальной и именно виртуальная часть является главной производительной силой.

Таким образом, цифровая экономика – это не экономика из сплошных цифр или что под каждым изделием понимается цифровое измерение. Отличительная особенность цифровой экономики заключается в том, что наряду с реальными физическими продуктами, с реальными процессами и технологиями должны существовать и их виртуальные модели, имеющие те же свойства, те же качества, работающие в такой же виртуальной среде, в которой существуют и функционируют реальные продукты.

При этом данное понятие не следует путать с такими категориями как: электронная экономика, веб-экономика, интернет-экономика, сетевая экономика, синтетическая экономика, эмерджентная экономика, коллаборативная экономика и другие.

Цифровое производство – будущее промышленного предприятия

Сахнович Т. А.

Белорусский национальный технический университет

Цифровое производство – производство, к которому наряду с реальными физическими предметами, процессами и технологиями существует и виртуальная реальность этих вещей, обладающая теми же свойствами и качествами; в ней они работают и существуют аналогично как существуют и функционируют физические продукты в материальном мире. Для этого:

- эскизное и техническое проектирование изделия должно осуществляться с максимальным повторным использованием его предыдущих поколений и с учетом последующей проверки без создания физического прототипа всех его свойств;

- разработка технологии производства должна выполняться на основе моделирования производственных операций еще до создания рабочего места, чтобы заранее предусмотреть все трудности: оптимизировать материальные потоки, энергопотребление и моделировать производственные процессы задолго до начала инвестиций в построение цеха;

- подготовка и запуск производства могут быть протестированы до начала производства виртуально с использованием возможностей механики, электрики и программного обеспечения;

- производство изделия будет осуществляться не только на основе идеального набора инструкций для производства и сборки изделия; но и с использованием технологий расширенной реальности на рабочем месте оператора;

- процесс обслуживания изделия позволит не только собирать и анализировать информацию, которую оно генерирует в ходе своей эксплуатации, но и даст возможность оценить состояние продукта на в единой среде от возникновения начальной идеи до использования потребителем.

Информация, заложенная в виртуальных изделиях и системах сэкономит огромное количество материальных, временных и прочих ресурсов на всех стадиях жизненного цикла.

Инвестиции, вложенные в виртуальное производство позволят ускорить бизнес-процессы предприятия, создать новые сервисы услуг, повысить гибкость работы и эффективность, улучшить качество, и тем самым выявят единый стратегический подход к построению и развитию бизнеса в целом.

**Резерв кадров на промышленных предприятиях
и эффективность управления им**

Фурсевич И. Н.

Белорусский национальный технический университет

На промышленных предприятиях Республики Беларусь перемещения и переводы работников осуществляются на базе Положения о формировании кадрового резерва. При этом основным нормативным документом является Положение об организации работы с руководящими кадрами в системе государственных органов и иных государственных организаций, утвержденное Указом Президента Республики Беларусь от 26 июля 2004 г. № 354, с последующими изменениями и дополнениями.

Сегодня, в период преодоления кризисных моментов, проблема улучшения эффективности использования трудовых кадров остается актуальной, результативность которых зависит во многом от политики предприятия по управлению персоналом, в том числе корпоративной культуры.

В Положении о формировании кадрового резерва говорится о том, что один и тот же работник может быть включен в резерв руководящих кадров на несколько должностей. На конкретную должность, определяемую штатным расписанием структурного подразделения, назначается не менее двух кандидатов. Период пребывания работников в резерве определяется практической целесообразностью, наличием вакантных мест. Отсюда вытекает неограниченный период нахождения в резерве. Это является одной из причин того, что сегодня кадры занимают руководящие позиции в течение длительного периода времени (более 15-20-ти лет).

В состав резерва сотрудники предприятия направляются по рекомендации непосредственных начальников. Сами же работники не проявляют инициативы, поскольку опасаются будущей ответственности, а также порицания коллег при неточном выполнении поставленной задачи.

Улучшению работы по управлению кадрами на предприятии может стать внедрение системы ротации кадров, основанная на фиксированном сроке пребывания в должности, суть которой заключается в разработке перечня должностей, по которым будет проводиться ротация кадров. Перечень должностей включает должностные уровни линейных руководителей и ключевых специалистов предприятия и рекомендуемый период пребывания в должности. Ротация кадров может предусматривать индивидуальную ротацию конкретного работника, например, с целью подготовки сотрудника предприятия на руководящую должность или для работы над определенным направлением (проектом).

Разработка месторождений полезных ископаемых

**Технологические схемы добычи нерудных полезных ископаемых
в сложных гидрогеологических условиях**

Оника С. Г.

Белорусский национальный технический университет

Значительная часть общего числа месторождений нерудных строительных материалов в Беларуси приходится на месторождения, условия разработки которых характеризуются высокой обводненностью. Некоторые из них отличаются значительной мощностью вскрыши. Разработка обводнённых песчаных и гравийно-песчаных месторождений возможна экскаваторным и гидромеханизированным способом. Разработка частично обводнённых месторождений экскаваторным способом осуществляется с применением драглайнов. Поскольку из подводного забоя извлекается пульпообразная масса, возникает необходимость промежуточного ее складирования. Чтобы снизить влажность, добытое полезное ископаемое укладывают в штабель. Продолжительность обезвоживания в штабеле зависит от содержания глинистых частиц и может достигать нескольких дней или недель. Поэтому технологии с созданием обезвоживающего штабеля требуют увеличения ширины рабочей площадки уступа и повторной отгрузки горной массы. Из навала полезное ископаемое вынимается и отгружается преимущественно в автомобильный транспорт погрузчиками и прямыми лопатами (реже драглайнами). Одним из направлений совершенствования технологии разработки обводненных месторождений является внедрение в производство земснарядов на базе погружных грунтовых насосов. В республике Беларусь получили применение конструкция земснаряда компании «Aurum Pumpen GmbH» (Германия). Данная модель применена нами в проекте расширения карьера силикатного песка «Околоты». Одной из перспективных схем отработки высоких уступов, которая нашла применение является схема с разделением уступа на два подступа. При работе по этой схеме прямая лопата или драглайн производит сброс породы с верхнего подступа на рабочую площадку нижнего подступа, а экскаватор большей производительности или два экскаватора производят погрузку породы из забоя нижнего подступа и породы, сброшенной с верхнего подступа в средства автотранспорта. При добыче мергеля на карьере «Коммунары Западные» предусмотрена схема добычи двумя подступами и с нижней разгрузкой с верхнего подступа шагающим экскаватором в средства автотранспорта.

Компьютерное моделирование сейсмического действия взрывов с использованием базы данных «Параметры взрывов - параметры колебаний»

Оника С. Г., Нарыжнова Е. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Развитие горных работ на крупных карьерах ведущих взрывные работы характеризуется изменяющимися горнотехническими, гидрогеологическими и другими условиями эксплуатации месторождений и необходимостью надежного обеспечения сейсмической безопасности для целого комплекса промышленных и гражданских сооружений с разной сейсмической устойчивостью. Поэтому определение сейсмичности взрыва в районах расположения охраняемых объектов и выбор параметров взрывных работ, обеспечивающих их сейсмобезопасность, является сложной многовариантной задачей, полное решение которой возможно только на основе создания компьютеризированной системы оперативного определения сейсмобезопасных параметров, позволяющей в зависимости от конкретных целей устанавливать сейсмичность проектируемых взрывов, изменять ее в требуемых пределах, обеспечивая эффективное управление параметрами сеймики. Используемая нами для исследований система прогноза и управления сейсмобезопасностью массовых взрывов представлена двумя подсистемами:

- подсистемой информационного обеспечения исследовательских и проектных задач горной сеймики;
- подсистемой районирования карьеров по сейсмобезопасным параметрам взрывов и сейсмическим колебаниям.

В качестве информационной основы первой подсистемы используется проблемно-ориентированная база данных «Параметры взрывов - параметры колебаний», содержащая данные по параметрам выполненных взрывов и параметрам зарегистрированных колебаний. С базой данных работает комплекс программ, решающий задачу автоматизированной обработки и формирования информации для решения научно-исследовательских и проектных задач горной сеймики.

Информационной основой второй подсистемы является геоинформационная система Surfer, содержащая данные по геометрии карьера и району расположения охраняемых объектов, их сейсмической устойчивости, данные по методам определения сейсмобезопасных масс и расстояний, являющимися различными формами решения общей задачи обеспечения сейсмобезопасности взрывов.

Результаты испытаний ворошилки кускового торфа ВТК-8,4

Стасевич В. И.

Белорусский национальный технический университет

В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 26 декабря 2006 г. № 1726 «Об утверждении плана мероприятий по использованию в республике местных топливно-энергетических ресурсов» была разработана и постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.01.2008 г. № 94 утверждена "Государственная программа "Торф" на 2008-2010 годы и на период до 2020 года". Программой предусмотрена закупка техники для производства кускового торфа для трех предприятий Витебской области, двух предприятий Могилевской области и двух предприятий Минской области, разработка конструкторской документации комплекса по добыче кускового торфа, технического регламента производства кускового торфа высокопроизводительным комплексом машин. Программой предусмотрено изготовление опытных и опытно-промышленных образцов оборудования. В Белорусском национальном техническом университете на основе проведенных исследований разработан комплекс для производства кускового торфа /1/, состоящий из добывающей машины МТК-1,6; ворошилки ВТК-8,4 и уборочной машина УТК-1,3. На комплект машин разработана проектная документация и предприятием ПРУП «Красное знамя» изготовлены опытные образцы. Машины агрегируются с тракторами МТЗ. На производственных площадях ОАО "Туршовка" Крупского района Минской области в сезонах 2016-2017 годов проводились испытания ворошилки кускового торфа ВТК-8,4. Производственные площадки расположены на месторождении верхового типа Туршовка-Чертово (кадастровый №402). В течение двух лет было выполнено 6 циклов производства кускового торфа и проведено 12 операций ворошения (по 2 ворошения на цикл). Цикловой сбор при начальной влажности сформованного торфа 80-82% и степени разложения 20-24% составлял 16,2 кг/м² или 162 тонны/га. Ворошение осуществлялось по кольцевой схеме на двух смежных картах. Фактическая производительность ворошилки составила 6,5 га/ч, что близко к расчетной. За все время работы осуществлялись только плановые ТО и регулировка пружинящих тяг. Результаты испытаний можно признать успешными. В настоящее время ведется доработка проектной документации.

Обоснование ширины целиков на участках ограниченных размеров шахтных полей Старобинского месторождения

Федотова С. А.

Белорусский национальный технический университет

Большие потери породы в целиках, достигающие 30-50 % и более, являются общим существенным недостатком всех технологических схем, применяемых при разработке Старобинского месторождения. Поэтому совершенствование системы разработки путем внедрения ресурсосберегающей бесцеликовой выемки руды очень актуально.

При проектировании бесцеликовых технологических схем отработки калийных пластов были выполнены исследования о возможности их внедрения в условиях Старобинского месторождения.

Из методов, принятых к рассмотрению, метод Белгорхипрома работает в диапазоне глубин 300-900 метров. Все остальные методы охватывают диапазон ведения подземных горных работы в пределах от 100 метров и более 900 метров.

Рассмотренные методы оценки и расчета предельной ширины целика не могут быть внедрены без соответствующей корректировки в производственный процесс расчета целика безопасности при отработке калийных пластов на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий». По результатам расчетов ширина целика между проводимой выработкой и выработанным пространством варьируется в диапазоне 1,5м-6м для глубин разработки 300-900 м. Метод Белгохимпрома применяется только для глубины горных работ в 300-900 метров. Метод ВНИМИ, показывает более точные результаты также в соответствующем диапазоне. Метод Ф.П. Бублика и Г.А. Иванова отображается в усреднённых значениях, что отрицательно сказывается на его гибкости, следовательно, и на его точности. При расчете предельной ширины целика наиболее точные данные позволяет получить методика ВНИМИ, однако по простоте расчета она уступает методике Белгорхимпрома. Соответственно при подходящих условиях залегания пласта целесообразнее применять методику расчета Белгорхимпрома, если же горно-геологические и горнотехнические условия выходят за рамки требуемых к применению подойдет метод ВНИМИ, охватывающий больший диапазон условий залегания. Проектный участок находится в северо-восточном положении шахтного поля Второго горизонта. Его составляют панели со столбами лав 2с-3 и 2с-4. По результатам расчета ширина целика между проводимой лавой и отработанным пространством, в условиях проектного участка с залегающей глубиной 638 – 828 метров, составляет 4,2 – 5,4 метра.

**Статистическая обработка выборки параметров
технологических величин**

Гец А. К.

Белорусский национальный технический университет

Технологические процессы подземного горного производства, в основной своей массе, носят стохастический характер и пределы изменения величин, характеризующих параметры этих процессов, могут изменяться в значительных пределах в зависимости от целого ряда условий, определяющих работу горно-шахтного оборудования: горно-геологические и горнотехнические условия, степень разведанности месторождения, надежность и срок службы оборудования, квалификация персонала, степень автоматизации и т.д. Учесть все эти условия при моделировании технологических процессов не представляется возможным и по этой причине параметры имитационных моделей носят вероятностный характер, что позволяет учесть многие факторы, влияющие на надежность и достоверность результатов моделирования. Результат моделирования в значительной мере зависит от методики статистической обработки результатов измерений технологических параметров по типам технологических схем, видам оборудования, процессам и операциям. Обработке подвергаются параметры, полученные в результате хронометражных наблюдений в конкретных добычных и проходческих забоях калийных рудников ОАО «Беларуськалий».

Хронометражные наблюдения, как основа для статистической обработки выборки технологических параметров добычных комплексов, проводятся на постоянной основе соответствующей службой предприятия и служат для обоснования и уточнения нормативной базы технологической структуры рудников.

Полученные выборки параметров процессов горного производства подвергаются статистической обработке. Статистическая обработка включает в себя выбор необходимого аппарата статистической обработки и алгоритма его использования для обработки данных при имитационном моделировании процессов горного производства.

Измеряя какую-либо физическую величину, мы не рассчитываем получить ее истинные значения, поэтому необходимо указать, насколько результат близок к истинному значению, т. е. указать точность измерения. Для этого вместе с полученным результатом указывается приближенная ошибка измерения.

Моделирование процесса осаждения глинистого шлама

Федотова С. А.

Белорусский национальный технический университет

С функционированием ОАО «Беларуськалий» связано образование огромного количества промышленных отходов: около 76% от объема всех промышленных отходов в РБ принадлежат ОАО «Беларуськалий». Количество промышленных отходов накопленных на земной поверхности солигорского района в настоящее время превысило отметку в 700 млн т. В зависимости от агрегатного состояния промышленных отходов их складировуют в специализированных сооружениях такие, как солеотвалы и шламохранилища. В настоящее время под солеотвалы и шламохранилища отведено около 1,5 тыс. га ранее плодородных земель. Для утилизации глинистого шлама предназначена многоступенчатая система обесшламливания, где на одной из ступеней используется метод флокуляции для ускорения осаждения глины. В качестве флокулянта используется полиакриламид.

Целью работы было установление зависимости скорости осаждения глины от соотношения Т:Ж и количества добавляемого флокулянта. В перспективе должна быть получена зависимость в форме полинома в ходе выполнения плана активного эксперимента.

Для достижения поставленной цели вначале была решена задача по определению влияния на скорость осаждения глины соотношения Т:Ж. Это необходимо для обоснования уровней факторов. Анализ полученных результатов позволили сделать следующие выводы в области содержания глины в суспензии, равном 10 г, наблюдается перелом в ходе процесса осаждения. Он говорит об изменении механизма осаждения частиц, образованных с участием флокулянта. Очевидно, что до этой точки осаждение частиц происходило в свободном режиме, а после - в стесненных условиях, когда существенный вклад в скорость осаждения глинистых частиц начинает вносить их взаимное влияние друг на друга. В области стесненного осаждения скорость процесса резко уменьшается с увеличением содержания твердого в глинисто-солевом шламе. В области свободного осаждения частиц наблюдается незначительное влияние содержания твердого в глинистой суспензии. Таким образом, можно сделать вывод о необходимости поддержания в осадителях при использовании в качестве флокулянта полиакриламида соотношения твердого к жидкому не более 1:25, что позволит поддерживать высокую скорость проведения процесса обесшламливания.

Antiarch Fishes from the Devonian deposits of Belarus

Plax D. P.

Belarusian National Technical University

Different fragments of antiarch remains can be quite often met in the Devonian deposits of Belarus. In the Lower Devonian deposits the antiarch remains have been found in the sediments of the Obol and Lepel Beds of the Vitebsk Regional Stage of the Upper Emsian. Thus, *Antiarcha* ? indet have been discovered in the Obol Beds; and *Asterolepididae* gen. indet., *Antiarcha* gen. nov. Plax., and *Antiarcha* indet have been identified in the Lepel Beds. The antiarch skeletal elements are established in the Adrov, Osveya, Gorodok and Kostyukovich Regional Stages of the Eifelian of the Middle Devonian. *Byssacanthus* sp., *B. dilatatus* (Eichw.), *Asterolepis* sp., *Asterolepididae* gen. indet. and *Antiarcha* indet. have been found in the Adrov Regional Stage; *Byssacanthus dilatatus* (Eichw.), *Asterolepis* sp., *A. estonica* Gross, *A. cf. estonica* Gross - in the Osveya Regional Stage; *Byssacanthus* sp., *B. sp.*, *B. dilatatus* (Eichw.), *Asterolepis* sp., *A. estonica* Gross, *A. cf. estonica* Gross, and *Asterolepididae* gen. indet. - in the Gorodok Regional Stage; and *Byssacanthus* sp., *B. dilatatus* (Eichw.), *Asterolepis* sp., *A. estonica* Gross, *A. cf. estonica* Gross, and *Antiarcha* indet - in the Kostyukovich Regional Stage. The antiarch remains have been found in the Goryn, Stolin, and Moroch Beds of the Polotsk Regional Stage, and the Ubort Regional Stage of the Givetian of the Middle Devonian. *Byssacanthus* sp., *Asterolepis* sp., *A. estonica* Gross, *A. cf. estonica* Gross, and *Antiarcha* indet. have been established in the Goryn Beds; *Byssacanthus* sp., *Asterolepis* sp., *A. estonica* Gross, *A. dellei* Gross, and *Antiarcha* indet. - in the Stolin Beds; *Byssacanthus* sp., *Asterolepis* sp., *A. estonica* Gross, *Microbrachius kedoae* Mark-Kurik, Newman, Toom & L. den Blaauwen, and *Antiarcha* indet. - in the Moroch Beds; and *Asterolepis* sp., *A. ornata* Eichw. sensu Ag., and *A. cf. ornata* Eichw. sensu Ag. - in the Ubort Regional Stage. The antiarch remains have been found in the Zhelon Regional Stage, the Skrygalovo and Saria Beds of the Sargaevo Regional Stage, the Rechitsa, Kustovnitza and Anisimovka Regional Stages of the Frasnian of the Upper Devonian. *Asterolepis* sp., *A. radiata* Rohon, *Bothriolepis* sp., *B. prima* Gross, *B. cf. prima* Gross, and *Antiarcha* indet. have been found in the Zhelon Regional Stage; *Asterolepis radiata* Rohon, *Bothriolepis* sp., *B. cellulosa* (Pander), and *B. cf. cellulosa* (Pander) - in the Skrygalovo Beds; *Asterolepis radiata* Rohon, *Grossilepis tuberculata* (Gross), *Bothriolepis* sp., *B. cellulosa* (Pander), *B. cf. cellulosa* (Pander), and *B. cf. panderi* Lahusen - in the Saria Beds; *Antiarcha* indet., *Bothriolepis* sp., and *B. maxima* Gross - in the Rechitsa Regional Stage; *Bothriolepis* sp. - in the Kustovnitza and Anisimovka Regional Stages. Single remains of *Bothriolepididae* gen. indet have been established in deposits of the Domanovich Regional Stage of the Lower Famennian.

**Моделирование технологического процесса горного производства
методом вентильного преобразования ресурсов**

Гец А. К.

Белорусский национальный технический университет

Существующий способ организации работы добычных забоев и транспортной системы калийного рудника по управлению качеством добываемой руды позволяет сделать вывод, что существующая методика стабилизации качества руды не обеспечивает должным образом прогнозируемой работы системы «рудник-обогащительная фабрика». В связи с этим, представленный метод исследования технологических процессов с помощью имитационного и математического моделирования, позволит прогнозировать качество добываемой горной массы по добычному горизонту, а также достичь более высоких показателей производительности труда работников, сокращения простоев и поломок оборудования.

Технологические процессы горного производства рудников представляют собой совокупность подпроцессов: подготовки полезного ископаемого к добыче (подготовительные работы), собственно добычи (очистные работы), транспортировки (система конвейеров – ствол – дробление – склад руды или обогащительная фабрика). В свою очередь подпроцессы могут быть представлены в виде совокупности технологических операций, определяющих количественные и качественные характеристики подпроцессов.

В зависимости от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий могут применяться различные технологические схемы очистной выемки: с разделением пластов на слои (слоевая выемка) с общей и раздельной подготовкой слоевых лав и без деления на слои (валовая).

Для качественного и количественного представления отдельного подпроцесса, как совокупности операций, структурно объединенных объективно существующими связями, можно использовать метод вентильных преобразований ресурсов, как один из методов имитационного моделирования.

Достоинства этого метода заключаются в следующем: наглядность, возможность представления непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических процессов, возможность учета влияния возмущающих факторов на отдельные операции подпроцессов, учет в динамике изменения ресурсов отдельных операций и подпроцесса в целом.

Плакс Д. П.

Белорусский национальный технический университет

Стратиграфия является главнейшей фундаментальной геологической наукой. С ее разработки начинается познание геологического строения любой исследуемой территории. Без данных стратиграфии невозможно обойтись практически ни в одной области теоретической и прикладной геологии. Эти данные необходимы при составлении геологических, тектонических, литолого-фациальных и палеогеографических карт любого масштаба, при прогнозировании, поисках и разведке многих видов полезных ископаемых. Не обойтись без данных стратиграфии также в гидрогеологии и инженерной геологии. В связи с проведением в настоящее время в мире крупномасштабных съемок, изучением осадочного чехла шельфов и океанов, поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых во все более сложных геологических условиях значение стратиграфии возрастает еще более и придает ей статус фундаментальной науки в цикле геологических знаний. Основной целью стратиграфии является восстановление исторической пространственно-временной последовательности распространения стратонов в земной коре. Целями изучения дисциплины являются: 1) ознакомление студентов с современными теоретическими положениями и достижениями стратиграфии; 2) закрепление представлений об особенностях общих, региональных и местных стратонов, методах их выделения, описания и наименования; 3) обучение методам полевых и камеральных стратиграфических исследований при прогнозе, поисках, разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Общими задачами изучения дисциплины являются: 1) изложение теоретических основ стратиграфии; 2) ознакомление с современными практическими методами и приемами проведения стратиграфических исследований; 3) рассмотрение возможностей использования результатов стратиграфических исследований при поисках, разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых. В результате изучения дисциплины студенты должны: 1) знать методы стратиграфических исследований; 2) уметь выбирать метод или комплекс методов при полевых и камеральных стратиграфических исследованиях в зависимости от конкретной геологической обстановки, анализировать стратиграфический материал, составлять стратиграфические разрезы и схемы их корреляции, адаптировать региональные и местные стратиграфические схемы к целям геологического картирования; 3) владеть основными методами расчленения и корреляции разрезов.

Снижение фильтрации рассолов при подработке солеотвалов

Кологривко А. А.

Белорусский национальный технический университет

Важным проектом для республики является строительство ИООО «Славкалий» горно-обогатительного комплекса мощностью от 1,1 до 2,0 млн. тонн хлорида калия в год на сырьевой базе Нежинского (восточная часть) участка Старобинского месторождения калийных солей. Складирование в бульдозерные отвалы солесодержащих пород от проходки вскрывающих выработок является одной из первоочередных задач проекта. Бульдозерный отвал размещается в границах солеотвала. При формировании ложа и строительстве ограждающей дамбы в основании предусматривается геомембрана, предполагающая надежный барьер на пути фильтрации рассолов и диффузии. Ее толщина 1,5 мм принята и на откосах дамб, что обеспечит одинаковую толщину экрана и получение качественных стыков при соединении полотен.

Вместе с тем, интенсификация работ при строительстве предприятия диктует важность наличия прогнозных данных о подверженности площадки строительства от вредного влияния деформаций земной поверхности на конец процесса сдвижения при отработке Второго и Первого калийных горизонтов Нежинского (восточная часть) участка, а также необходимость оценки изменения прочностных и деформационных свойств геомембраны под значительным нагружением вследствие появления новых условий при воздействии прогнозируемых нагрузок (давления), вначале при формировании бульдозерного отвала (в последствие – солеотвала), на противофильтрационный экран, а в последствие – деформаций от возможной подработки отвала в период его эксплуатации.

Прочностные характеристики геомембраны представлены нормативными документами лишь минимальными значениями. Данные испытаний прочностных и деформационных свойств геомембраны, используемой в условиях производства представляются важными для практических целей. Характеристики, полученные при испытаниях, используются в качестве исходных данных для исследований воздействия на противофильтрационный экран нагрузок от отвальных пород и деформаций от подработки отвала в период эксплуатации. В этой связи, учет данные о величинах ожидаемых деформаций участка формирования отвалов вследствие развития процесса сдвижения с представлением выводов в части поведения геомембраны под нагружением и ее деформации от подработки, позволят прогнозировать снижение фильтрации рассолов при подработке солеотвалов.

Увеличение площадей складирования галитовых отходов

Кологривко А. А.

Белорусский национальный технический университет

Технологические решения по развитию хвостового хозяйства в части расширения солеотвала 2РУ ОАО «Беларуськалий» посредством складирования солеотходов отвалообразователями, и, как следствие, увеличение площадей складирования галитовых отходов, позволяет заключить, что складирование основывается на прогнозных значениях физико-механических характеристик солеотходов флотационной обогатительной фабрики 2РУ (NaCl 90,0-94,0%, KCl 3,0-5,0 %, CaCl 0,02-0,06%, MgCl₂ 0,04-0,2%, CaSO₄ 0,1-1,1%, н.о. 2,0-4,0%). Значения представлены на основе усреднения ранее полученных результатов теоретических и экспериментальных инженерно-геологических исследований аналогичных твердых отходов, получаемых при флотационном методе обогащения для условий Старобинского месторождения калийных солей. Такие значения физико-механических характеристик (первая очередь) можно принять в качестве приемлемых, в связи с тем, что не определены лабораторными и полевыми инженерно-геологическими исследованиями, необходимыми для прогнозирования состояния солеотвала во времени.

Комплекс инженерно-технических мероприятий по горно-механической части позволяет обеспечить бесперебойную работу оборудования при производстве работ по складированию солеотходов в условиях 2РУ. Сроки складирования по линии ОШ-110 №3 составляют около 2,3 года (без учета ОШ-110 №1 и ОШ-110 №2) и определены с учетом объема складированных галитовых отходов 14140,0 тыс. м³ (19800,0 тыс.т) на солеотвале 2РУ отвалообразователем ОШ-110 №3.

Однако в последующих очередях проектирования или на стадии эксплуатации или при корректировке проектных решений, ввиду изменения пространственно-временных закономерностей формирования солеотвала 2РУ и изменения физико-механических характеристик твердых солеотходов, следует уточнять характеристики на основе научных исследований, в том числе лабораторных испытаний солеотходов.

Указанное является весьма важным фактором в части уточнения характеристик солеотходов, так как от их состава, водно-физических свойств, технологии складирования в значительной степени зависят развивающиеся в солеотвале процессы консолидации, водно-эрозийные и карстогенные процессы, вследствие чего формируются прочностные свойства солеотходов, изменяющиеся во времени.

Биофизические свойства горных пород и минералов

Поликарпова Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

Многочисленными исследованиями установлена теснейшая взаимосвязь минеральной среды и населяющих её организмов. В 2006 увидела свет коллективная монография «Биокосные взаимодействия: жизнь и камень» (Изд-во СПбГУ, 2006). По закону физико-химического единства живого вещества вся биота состоит из одной довольно узкой группы химических элементов и единообразна по своему биохимическому строению. Все эти элементы поступают в организмы из мира минералов. Главную роль среди породообразующих минералов играют минералы, в состав которых входит оксид кремния - кремнезем (SiO_2). Кремний встречается в виде таких широко распространенных минералов как кварц, халцедон, опал, из которых состоят такие известные осадочные породы как кремень, яшма, пески, глины и др. Кремний является основой неорганического мира. В тоже время кремний играет важную роль в живых организмах (например, входит в состав коллагена - основного белка соединительной ткани). Поддержание жизнедеятельности организмов осуществляется в процессе метаболизма, который обеспечивается поступлением энергии и вещества, из внешней среды. Биохимическими исследованиями установлено, что в обменных процессах важную роль играют витаминами и микроэлементами. В настоящее время изучение взаимодействия между органическими и минеральными составляющими биосферы исследуются главным образом на вещественном уровне, тогда как информационные и энергетические составляющие этих процессов изучены в значительно меньшей мере. Имеется ряд работ доказывающих, наличие у минералов энергетических полей, и возможность взаимодействовать с ними. Установлено, что физические приборы, в схемах которых используются кристаллы, реагируют на психофизическое воздействие экспериментатора. С целью изучения полевого воздействия горных пород на биологические организмы нами был проведен ряд экспериментов, в которых семена различных культур помещали на изолированные образцы горных пород и минералов (массой 300-500г) и в течение 2 недель выращивали в этих условиях. Анализ количества проросших семян, массы проростков, длины листьев и длины корней в каждом из вариантов показал, что даже в отсутствие непосредственного контакта между горными породами и развивающимися на них семенами наблюдается эффект воздействия горной породы на всхожесть семян и последующей активизацией или угнетением ростовых процессов.

Проблемы осушения месторождений, расположенных вблизи открытых водосточников»

Халявкин Ф. Г.

Белорусский национальный технический университет

Вопрос осушения подобных месторождений изучался на примере карьера по добыче доломита «Гралево».

В основу исследований положены два метода: аналогий и аналитический. В качестве аналога выбран выработанный карьер «Руба», заполненный водой. Этот карьер расположен на небольшом расстоянии от реки Западная Двина и карьера «Гралево». На них с марта по декабрь велись ежедневные замеры уровней воды. Обработка этих данных указывает на гидравлическую связь между уровнями воды в реке и карьере «Руба», что можно по аналогии распространить и на карьер «Гралево», находящийся на расстоянии 700 м от реки

Предлагаемая технология добычи полезного ископаемого (доломита) предусматривает перевалочную систему вскрышной породы в выработанное пространство карьера через добычной уступ, а добычу доломита вести одним уступом высотой 20 м после взрыва черпанием из-под воды.

Исследования по определению притока воды в карьер «Гралево» выполнялись с учетом того, что карьер имеет вытянутую форму, несовершенный тип, а фильтрация воды в него безнапорная. Все существующие методы расчета требуют знания величины коэффициента фильтрации. Для определения притока воды в карьер применялся аналитический метод, т. е. по тем расчетным зависимостям, которые приемлемы для данных условий. По методу «большого колодца» приток воды в карьер составил – 82 408 м³/сут.; - по методу «карьер вблизи реки» - 104738 м³/сут.; - по методу «карьер вытянутой формы» - 81360 м³/сут., соотношение сторон водоема больше, чем 20:1.

Анализируя результаты расчетов притока воды в карьер по различным методам, можно отметить, что при разности уровней воды в реке и на дне карьера равном 20 м приток прогнозируется в пределах 80-105 тыс. м³ в сутки.

Уровень воды в карьере при добыче доломита должен быть на 1-2 м ниже верха уступа. Приток воды составит 12-14 тыс. м³ в сутки.

**Использование системы микроскоп-фотокамера-монитор
в учебном процессе**

Поликарова Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях ни одно месторождение не начинают разрабатывать без детального изучения физических свойств пород пласта. Для определения характеристики нефтяного и газового пласта устанавливается гранулометрический (механический) состав пористость, проницаемость, удельная поверхность, и другие свойства пород. Химическим составом нефти обусловлены некоторые особенности эксплуатации нефтяных месторождений. По элементарному составу многие нефти более чем на 99% состоят из углерода и водорода. Наиболее широко в нефти представлены углеводороды метанового или парафинового ряда общего состава C_nH_{2n+2} и полиметиленовые углеводороды или нафтены (C_nH_{2n}). Кроме парафинов и нафтенов, одна из постоянных составных частей нефти – ароматические углеводороды. В нефти содержатся такие вещества, как хризены, фенантрены, бензпирены, пирены, тетрафены. В ней также имеются неуглеводородные компоненты – смолы и асфальтены. Большая часть асфальто-смолистых веществ нефти представлена нейтральными смолами, которые в чистом виде – жидкие или полужидкие вещества от темно-желтого до коричневого цвета плотностью 1000–1070 кг/м³. Темная окраска нефти обусловлена в основном присутствием в ней нейтральных смол. Создание новых подходов в изучении нефти для решения в последующем технических вопросов не утрачивает своей актуальности. Нами была поставлена задача, разработать новый эффективный метод для изучения оптических свойств нефти. С этой целью на кафедре «Горные работы» БНТУ была собрана установка состоящая из бинокулярного оптического микроскопа (МИКМЕДво-1), фотокамеры (NIKONCoolPix 4500) и компьютера. Максимальная разрешающая способность (увеличение) установки составляет 1150х. Получаемые фотоснимки выводятся на монитор компьютера и получают на нем дополнительное увеличение. С помощью данной установки были исследованы образцы нефти с ряда месторождений Беларуси. Анализ полученных микрофотографий нефти показал, что они имеют четко выраженные характерные отличия по цвету. Это свидетельствует о различном содержании в них асфальто-смолистых веществ. Образцы различались также микровключениями, что указывает на их генезис. Проведенная работа свидетельствует о перспективности разработанного на кафедре «Горные работы» метода для изучения нефти.

Инновации в горном деле

Ковалёва И. М.

Белорусский национальный технический университет

Конкурентоспособное горное производство должно стремиться к внедрению и поиску инновационных решений.

Инновации увеличивают рентабельность и производительность на горнодобывающих предприятиях, дают возможность разрабатывать сложные по геологическому строению и расположению месторождения, что расширяет ресурсную базу и базу товарной продукции, приводят к постепенному сокращению затрат и увеличению объемов добычи и производства товарной продукции, снижению себестоимости, повышению экологичности производства, улучшению репутации и конкурентоспособности предприятия.

Инновации затронули все сферы горного производства:

– применяются новые технологии при разведке, переработке и обогащении полезных ископаемых (например, трёхмерное моделирование ресурсов и оптимизация горных процессов; автоклавное выщелачивание; использование технологии комплексной глубокой переработки пластов и системы мониторинга горного массива; система телеметрии «ShovelSense», разработанная канадской компанией «MineSense», позволяющая сортировать полезное ископаемое при транспортировании; дезактивация хвостов при переработки руд редкоземельных металлов; перенос обогатительного производства в подземные выработки, что позволяет уменьшить затраты на подъем горной массы на поверхность, а отходы обогащения размещать в выработанном пространстве);

– внедряется новое оборудование, при работе которого минимизируется участие человека (например, беспилотный самосвал производства Volvo, Caterpillar или Scania), что позволит сократить потребление топлива, уменьшить время простоя оборудования и повысить безопасность труда, а также позволит выполнять работу на отдаленных и труднодоступных участках месторождениях;

– повышается квалификация рабочего персонала и инженерно-технических кадров.

**Применение технологии направленного горизонтального бурения
для повышения эффективности отработки залежей в сложных
горно-геологических условиях**

Мороз Н. И.

Белорусский национальный технический университет

Скважины, для которых проектом предусматривается определенное отклонение забоя от вертикали, а ствол проводится по заранее заданной траектории, называются наклонно-направленными.

Наклонные скважины бурят, когда продуктивные пласты залегают под акваториями морей, под территориями населенных пунктов, промышленных объектов, в заболоченной местности, а также для удешевления строительства буровых сооружений. Бурение направленных скважин весьма эффективный и актуальный вид буровых работ, как при разведке месторождений твердых полезных ископаемых, так и месторождений нефти и газа. Одной из наиболее важных сторон этого вида работ является надежное проведение скважин по их проектным трассам в заданные точки разведочной и эксплуатационной сети. Это обеспечивает наибольшую информацию об исследуемом месторождении, а при эксплуатации – наиболее эффективную добычу нефти и газа и полноту его отработки, особенно при внедрении методов с бурением протяженных интервалов горизонтальных стволов скважин по нефтегазонасыщенным пластам. Искривлению подвержены в той или иной степени почти все скважины при любом способе бурения. Если не контролировать направление скважин и не учитывать их искривление, то данные полученные о форме, размерах и элементах залегания полезного ископаемого, будут искажены, что может привести к серьезным ошибкам в оценке месторождения и неправильному выбору способа его разработки.

Наряду с этими достоинствами следует отметить и недостатки наклонно-направленного бурения скважин – искривление скважин отрицательно сказывается и на технологии их бурения. Из-за увеличенного трения бурильной колонны о стенки скважины осложняется регулирование нагрузки на породоразрушающий инструмент. Выполнение спуско-подъемных операций в искривленных скважинах затрудняется, что снижает производительность.

Значительно осложняется спуск обсадных труб в искривленные скважины.

В докладе рассматриваются основные закономерности применения направленного бурения, способы и приборы, применяемые для измерения угла искривления скважин.

Повышение устойчивости горных выработок при их проходке и эксплуатации в сложных горно-геологических условиях

¹Моргун А. В., ²Чухарев С. М.

¹ЧАО «Суха Балка»

²Криворожский национальный университет, Украина

При подземной разработке железорудных месторождений Криворожского бассейна на глубинах более 1000 м. практически все руды и вмещающие горные породы в обнажениях проявляют ползучесть. При достижении таких глубин происходит разрушение контура выработки, которое в неустойчивом, слабом массиве может достигать 0,5-1,0 м./мес. Основные деформации реализуются в первые несколько суток после возникновения дополнительных напряжений и ослабления массива (проходка выработки, массовый взрыв и т. п.).

В таких условиях основным видом крепления горизонтальных горных выработок на шахтах Кривбасса является арочное податливое металлическое крепление из спецпрофиля (типа УПК, КАП). При этом, традиционно форму контура выработки максимально приближают к форме рамной крепи УПК соответствующего сечения. При такой технологии крепления выработок не учитывается механизм взаимодействия элементов системы «крепь-массив», что становится причиной преждевременного разрушения выработок.

На шахтах ЧАО «Суха Балка» на практике применяют комплекс защитных мер, обеспечивающих устойчивость выработок при их проходке и эксплуатации на больших глубинах.

В их основу положены разработанные ЧАО «Суха Балка» совместно с научно-исследовательскими институтами способы поддержания горных выработок, обеспечивающие снижение нагрузки на крепь в период максимального развития процесса разрушений горного массива вокруг выработки путем оставления компенсационных ниш с боков. Наличие между крепью и массивом таких ниш обеспечивает, с одной стороны возможность размещения в них без динамических ударов на крепь увеличившегося объема породы за закрепленным пространством в момент развития зоны разрушения вокруг выработки, а с другой стороны - за счет правильно рассчитанного коэффициента разрыхления пород вокруг выработки создается подпор массива со стороны крепи, препятствующий его дальнейшему разрушению.

Исследование влияния различных факторов на устойчивость потолочин при добыче урановых руд подземным блочным выщелачиванием

Ступник Н. И., Калиниченко В. А., Федько М. Б.
Криворожский национальный университет, Украина

Отработку участков убогих ураносодержащих руд целесообразно производить с применением технологии подземного блочного выщелачивания, позволяющей повысить извлечение полезного компонента, а также исключить из производственной цепочки ряд трудоемких и экологически опасных операций. Для сокращения затрат на применение данной технологии возможно использовать идею отработки залежей спаренными по высоте блоками, когда под отработанной и заполненной отбитой рудой камерой располагают еще одну камеру под оставляемой потолочиной, которую обрушают после отбойки всего запаса руды нижележащего блока, после чего всю отбитую руду орошают кислотным раствором. Поскольку эта технология существенно отличается от традиционной, в первую очередь развитием поля напряжений как в основных конструктивных элементах, так и в окружающем породном массиве, в потолочине могут быть пройдены выработки и на нее оказывает воздействие реагенты, используемые при выщелачивании этих руд, то возникает вопрос исследования степени влияния вышеуказанных факторов на устойчивость таких потолочин. Кроме этого, на этапе выполнения проектных работ необходимо определение безопасных размеров потолочин, что не предусмотрено существующими инструктивными документами, поскольку такая технология отработки урановых руд по сути является новой для этих шахт.

Путем математического моделирования с использованием метода конечных элементов, а также с применением аналитического метода исследовано влияние угла падения залежи и пройденных в потолочине выработок на изменение ее напряженно-деформированного состояния и устойчивости. Лабораторными исследованиями также установлена степень влияния реагента, используемого при подземном блочном выщелачивании урановых руд, на изменение их прочности, что также необходимо учитывать при определении безопасных параметров потолочин.

Таким образом, возможность корректировки толщины потолочин с учетом степени нарушенности выработками, действия кислотного раствора, позволит на этапе проектирования определить необходимую их толщину, избежать возможного разрушения от негативного воздействия вышеупомянутых факторов и обеспечить безопасность работ.

Селективная отработка сложно-структурных рудных залежей Криворожского бассейна

Калиниченко В. А. Письменный С. В. Чухарев С. М.
Криворожский национальный университет, Украина

В Криворожском железорудном бассейне открытым и подземным способами ведется разработка железистых кварцитов. Всего запасов железистых кварцитов до глубины 2000 м в Криворожском железорудном бассейне насчитывается около 23,2 млрд.т из них: природно-богатых руд с содержанием железа магнитного в массиве 51-67% – 1,1 млрд т. и природно-бедных с содержанием железа общего 22-35% – 22,1 млрд т. Следует отметить, что запасы природно-богатых руд отрабатываются только подземным способом.

На подземных горных работах в настоящее время применяются системы разработки с массовым обрушением руды и налегающих пород (60%) и камерные системы разработки с обрушением целиков (40%), при этом, процентное соотношение применения камерных систем с каждым годом увеличивается.

В очистных блоках обрабатываемых месторождений встречаются безрудные включения мощностью от 5 до 12 м, которые существенно снижают качество полезного компонента в добытой рудной массе на 3-5%, что приводит к увеличению засорения руды. Так в среднем по шахтам Криворожского железорудного бассейна насчитывается от 5 до 20 очистных блоков с безрудными включениями. Количество безрудных включений в этаже изменяется 4,1 до 9,1% от общих запасов природно-богатых руд в этаже.

Повысить качество полезного компонента в добытой рудной массе при отработке очистных блоков с безрудными включениями возможно за счет селективной их отработки и определенного порядка ведения горных работ.

Так при применении систем с массовым обрушением необходимо компенсационную камеру формировать не со стороны висячего или лежащего бока, а непосредственно в безрудном включении. Это позволит исключить существенное засорение руды с безрудным включением.

Таким образом, изменение месторасположения компенсационного пространства в очистном блоке и выемки безрудного включения в первую очередь позволит снизить количество примешиваемых пустых пород и повысить среднее качество полезного компонента в очистном блоке и в добытой рудной массе при массовом обрушении горного массива.

Моделирование параметров надежности конструктивных элементов объектов поверхности шахт

Бровко Д. В., Хворост В.В., Кононенко В. В.
Криворожский национальный университет, Украина

Качество выполнения работ при реконструкции промышленных объектов шахт - это максимально возможное выявление имеющихся дефектов. Обследование сооружений поверхности – процедура определения их технического состояния.

На основе результатов (фактических значений контролируемых параметров) технического обследования здания или иного сооружения можно оценить пригодность объекта для дальнейшей эксплуатации, реконструкции или определить необходимость в восстановлении, усилении, ремонте элементов конструкций.

Эта задача огромной важности, так как не выявленные дефекты проявляются в виде аварий конструкций в процессе эксплуатации промышленных объектов шахт.

Современные научные и производственные представления, на которых базируется большинство методик определения фактического состояния конструктивных элементов объектов поверхности шахт, опираются на стандартных представлениях.

При этом разработка и внедрение новых методик, основанных на комплексном определении фактического состояния объектов поверхности, продляет их безопасную эксплуатацию.

В работе рассмотрена механическая модель распространения дефектов в условиях напряженного состояния конструктивного элемента. Экспериментальные данные по исследованию элементов конструкций промышленных объектов шахт дали возможность определить параметры кинетического уравнения с использованием принципов регрессионного анализа, что в свою очередь позволило получить зависимость, характеризующую промежуток времени до разрушения определенного дефекта при различных значениях, действующих или возникающих нагрузок.

Выполненные расчеты позволяют предположить, что выявление дефекта больше зависит от величины начального дефекта, чем от величины нагрузки.

**Совершенствование организации проходческих работ
при строительстве глубоких горизонтов шахт
Криворожского бассейна**

Андреев Б. Н., Сергеев С. С.

Криворожский национальный университет, Украина

Одной из существенных проблем ряда шахт Криворожского железорудного бассейна является значительное отставание в сроках подготовки и сдачи в эксплуатацию новых горизонтов. Понимая острую необходимость в повышении темпов подготовительных работ, горнодобывающие предприятия приложили максимум усилий в техническом переоснащении своего парка горнопроходческого оборудования. Однако с появлением современных импортных комплексов возник вопрос о повышении эффективности их использования за счет приведения в соответствие технических возможностей оборудования с параметрами применяемой технологии проходки. Таким образом, в современных условиях отставание подготовительных работ обусловлено не только объективными причинами общеэкономического характера, но и не в полной мере адаптированной под новое оборудование организацией проходческих работ.

По различным оценкам, технические возможности современного проходческого оборудования на шахтах Кривбасса используются не более чем на 65%. Это обусловлено, в частности, простоями, несвоевременным обслуживанием и неверной компоновкой комплексов. Также среди немаловажных причин недостаточно высокой эффективности использования машин являются особенности организации откатки породы из забоев. Ее продолжительность в зависимости от условий строящегося горизонта может длиться от одной до четырёх смен, что приводит к увеличению времени цикла.

Анализ производственной деятельности ряда шахт Публичного Акционерного Общества «Криворожский железорудный комбинат» (ПАО «КЖРК») показал уязвимые места в организации горнопроходческих циклов, которые оказывают основное влияние на продолжительность проведения выработок. Исследуемые горизонты шахт были условно поделены на две группы. Первая – с откаткой отбитой массы вагонетками ВГ – 4,5 в количестве 7 штук с общей вместимостью 28 м³, вторая – с использованием вагона ВПК – 7,5 вместимостью 6 м³.

Исследование влияния техногенного поля напряжений на развитие геомеханических процессов при формировании искусственных подземных сооружений

Калиниченко Е. В.

Криворожский национальный университет, Украина

В Криворожском железорудном бассейне в течение десятков лет складывалась неблагоприятная ситуация с сохранением дневной поверхности в пределах действующих закрытых и ликвидированных шахт.

В результате длительной и интенсивной эксплуатации месторождений Кривбасса подземным способом образовались значительные площади подработанных горными работами территорий. Нарушения дневной поверхности характеризуются воронками, провалами и зонами обрушения.

В работе предложено решение проблемы управления напряженно-деформированным состоянием массива за счет уточнения закономерностей взаимодействия полей напряжений при формировании искусственных подземных сооружений.

Определены фундаментальные закономерности и установлены ключевые зависимости трансформации напряженно-деформированного состояния массива на примере воздействия открытого очистного пространства 40 отработанных камер длительного консервирования шахты «Гигант-Глубокая».

Установлены универсальные адаптивные показатели величины максимальных напряжений в горизонтальных, шатровых, сводообразных и наклонных потолочинах очистных камер в зависимости от глубины разработки, угла наклона и кривизны потолочины, а также дифференцированной прочности железных руд. Доказано, что при отработке богатых железных руд на больших глубинах системами подэтажного обрушения необходимо использовать вертикальные и наклонные компенсационные камеры. При отработке богатых железных руд камерными системами разработки на глубинах более 1500 м ключевым требованием является переход на шатровые и сводообразные потолочины, которые обеспечивают максимальную устойчивость в условиях высокого горного давления.

Таким образом, предлагаемая работа, в которой выполнены исследование и разработаны технологические решения, которые предотвращают образование провалов земной поверхности при подземной добыче железных руд, является актуальной и имеет важное научное и практическое значение.

Влияние технологических особенностей комбинированного транспорта на динамику развития горных работ в карьере

Слободянюк В. К.

Криворожский национальный университет, Украина

С увеличением глубины карьеров и более глубоким размещением в карьере перегрузочных пунктов влияние схемы вскрытия на горные работы становится все более значительным, часто существенно уменьшающим эффективность капитальных затрат на реконструкцию транспортной схемы карьера. У данной проблемы есть определенные различия в зависимости от вида комбинированного транспорта.

Особенностью схем вскрытия с использованием автомобильно-конвейерного транспорта на железорудных карьерах Украины является использование стационарных перегрузочных пунктов. Это решение эффективно на карьерах, разрабатывающих синклиналильные месторождения при возможности формирования нерабочего борта по шарниру складки. При использовании стационарных перегрузочных пунктов на карьерах, на которых не удастся увязать расположение конвейерных линий (подземных или открытых) с благоприятным положением нерабочего борта карьера, с каждой реконструкцией негативное влияние рудных целиков на горные работы возрастает.

На ряде железорудных карьеров столкнулись с проблемой сдерживания развития горных работ экскаваторными перегрузочными пунктами. В отличие от перегрузочных пунктов автомобильно-конвейерного транспорта, перегрузочные пункты автомобильно-железнодорожного транспорта занимают большие участки бортов карьера. Конструктивные особенности, техника и технология горных работ на экскаваторном перегрузочном пункте оказывают влияние на замораживание горных работ на вышележащем и на нижележащих уступах карьера.

Таких недостатков лишен перегрузочный пункт, не примыкающий к откосу вышележащего уступа. В этом случае он не создает препятствий для отработки вышележащего уступа, после которой его смещают, освобождая площадку для отработки нижележащего уступа. При использовании мехлопаты перегрузочный пункт такой конструкции будет слишком широким, но при использовании обратных гидравлических лопат с размещением горной массы в приемной траншее параметры склада делают возможным его размещение в глубоком карьере. Применение скользящих перегрузочных пунктов позволит сохранить и расширить область использования автомобильно-железнодорожного транспорта.

Слободянюк В. К.

Криворожский национальный университет, Украина

Выполняемые научно-исследовательские и проектные работы по развитию сырьевой базы горно-обогатительных комбинатов базируются на использовании динамического подхода к решению главных оптимизационных задач открытой разработки. Динамический подход делает проект карьера обоснованным, точным и контролируемым, но он сопряжен с выполнением большого объема горно-геометрических расчетов. Современные методы проектирования «оживляют» проектную документацию – модель карьера можно сравнить с фактическим положением горных работ, определить степень отклонения от проектного решения, наметить варианты корректировки проекта. Появляется возможность реального контроля динамики развития горных работ.

Основная причина ошибок – непонимание и неучет геологических особенностей месторождения. Поэтому основой для решения широкого круга задач является создание и поддержка актуального состояния моделей горно-геологических объектов (моделей месторождений, моделей выработанного пространства и фактического положения горных работ в карьере, моделей карьеров по предыдущим проектам, предпроектным проработкам, НИР и по годовым программам).

Доказано (Whittle D.), что для заданных геологических, горно-технических и экономических условий существует только один математически оптимальный контур карьера. Если увеличить стоимость руды, то карьер станет больше. Если увеличить угол откоса нерабочего борта, то карьер станет глубже. Для любого непрерывного рудного тела, по мере приближения рассматриваемого контура к оптимальному карьере, каждый последующий контур карьера характеризуется малым приращением положительной стоимости. То есть, кривая «запасы - стоимость карьера» в области максимума гладкая и плоская.

При определении конечной глубины условного карьера на основе классических положений теории проектирования с использованием граничного коэффициента вскрыши, запасы оптимального карьера совпадают с карьером, определенным алгоритмом на основе теории графов. Но в последнем случае мы видим динамику взаимодействия карьера с месторождением. Изменение ситуации на сырьевых рынках изменяет кривую «запасы - стоимость карьера», смещает положение оптимального карьера и делает актуальной задачу аудита проектов.

Создание наблюдательной станции на объектах ЧАО «ЦГОК»

Долгих А. В., Долгих Л. В.

Криворожский национальный университет

Важному вопросу усовершенствования методики наблюдения за движением земной поверхности на территориях, которые подрабатываются горнодобывающими предприятиями, уделяется внимание многими учеными. Актуальность вопроса обусловлена необходимостью обеспечения безопасности территорий, на которых находятся различные промышленные объекты по добыче и переработке полезного ископаемого, складированию горных пород и т.д. При создании проектов наблюдательных станций, как правило, учитываются особенности разработки карьеров и формирования отвалов, а также возможности привязки профильных линий к исходным пунктам при помощи GPS. Выбор места закладки реперов наблюдательной станции для исследования деформаций уступов карьеров и отвалов осуществлялся на основе анализа современного состояния поверхности и перспективы развития горных работ. От правильного расположения профильных линий зависит достоверность полученных результатов, а значит и безопасность работ по добыче полезного ископаемого и отвалообразованию. Использование современных приборов, позволяющих координировать пункты, то есть, определять их пространственное положение при помощи GPS, может заменить комплекс работ по выполнению линейных измерений между реперами и нивелированию. Для исследования процесса сдвижения земной поверхности на территории промышленных объектов ЧАО «ЦГОК», расположенных в Петровском районе Кировоградской области, в 2017-2018 годах выполнена закладка новой наблюдательной станции, на реперах которой деформации определяются по результатам сравнения их координат, определяемых периодическим координированием при помощи GPS. Из экспериментальных исследований установлено время работы на станции, которое позволяет с заданной точностью определить координаты точек. Это время составляет не менее 20 минут. Особое внимание было уделено вопросу выбора пунктов исходного обоснования, которые на территории железорудного бассейна часто подвержены процессам сдвижения.

Для контроля деформаций, полученных при помощи GPS, использовался электронный тахеометр для определения горизонтальных деформаций и вертикальных деформаций.

**Практика наблюдений зоны сдвижения земной поверхности
от влияния горных работ шахты им. Орджоникидзе**

Федоренко П. И., Долгих Л. В., Долгих А. В.
Криворожский национальный университет

Важной составляющей маркшейдерской службы горнорудных предприятий является мониторинг территорий, подработанных подземными горными работами, а также наблюдения за состоянием бортов карьеров и отвалов. В настоящее время, благодаря электронным приборам, GPS, цифровым камерам и отличному программному обеспечению, технологии маркшейдерско-геодезических измерений и их обработка существенно изменились. Это дает возможность повысить эффективность работ по наблюдению за деформациями земной поверхности и объектов, расположенных на ней.

Эффективным является использование наземной цифровой съемки с базисов, расположенных параллельно к линиям бровок уступов отвалов или карьеров. На карьерах цифровой съемкой охватываются и верхние и нижние бровки. На отвалах же наблюдаются только линии верхних бровок. При расстояниях от 100 до 300 метров изменений в положениях точек определяются с точностью соответственно 5 мм и 15 мм. По результатам таких съемок, по величинам изменения положения точек бровок, определяются участки для закладки реперов наблюдательной станции, которые в дальнейшем используются для исследований процесса сдвижений бортов карьеров и отвалов.

Способ с использованием GPS имеет выше стоимость по сравнению со способом, при котором выполняются линейные промеры и нивелирование. Как показывает практический опыт, этот способ эффективен в проблемных местах, когда есть необходимость в этом. Авторами этот способ используется как контрольный на сложных профильных линиях. В работе используется двухчастотный GPS-приемник Topcon Hiper+ с точностью измерений: в плане $m_1 = (3 + 0,5 \cdot 10^{-6}L)$ мм; по высоте $m_h = (5 + 1 \cdot 10^{-6}L)$ мм.

При наблюдении за сдвигами земной поверхности на территории шахты им. Орджоникидзе ЧАО «ЦГОК», на большей части профилей, использовался нивелир SETL DSZ3 с точностью определения превышений на станции $m_h = 1,5$ мм и электронный тахеометр SET 630R, который имеет точность угловых и линейных измерений соответственно $m_\delta = 6''$ и $m_l = (2 + 1 \cdot 10^{-6}L)$ мм. В результате выполнения линейно-угловых измерений создается полигонометрический ход с определением координат реперов.

**Обоснование развития горных работ в карьере при изменении
спроса на железорудную продукцию**

Луценко С. А.

Криворожский национальный университет, Украина

Современные подходы к проектированию карьеров основаны на допущении, что параметры внешней и внутренней среды будут относительно постоянными и, следовательно, не предусматривают изменения главных параметров карьера в длительной перспективе. Работа в условиях рыночных отношений ставит горные предприятия в зависимость от мировой конъюнктуры рынков минерального сырья, а также требует нового, более гибкого подхода к освоению месторождений. В связи с этим первостепенное значение приобрели вопросы обеспечения конкурентоспособности, которая зависит от принятой стратегии развития горных работ. Поэтому стратегия должна в первую очередь нести в себе возможность получения преимуществ от изменений.

Существенно повысить экономическую эффективность разработки возможно за счёт реализации гибкого изменения главных параметров карьера, что достигается обоснованной корректировкой развития горных работ путем изменения размеров, параметров и конструкции активной части рабочей зоны карьера.

В связи с этим была разработана методика планирования развития горных работ в карьере, которая позволяет обеспечивать гибкое регулирование главных параметров карьера в условиях изменяющейся потребности в железорудном сырье. В основу методики планирования развития горных работ положена идея – концентрировать горные работы на отдельных участках карьерного поля (активной части рабочей зоны) протяженность которых определяется оптимальными значениями ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, обеспечивающими нормативный объем готовых к выемке запасов для заданной производительности карьера по руде.

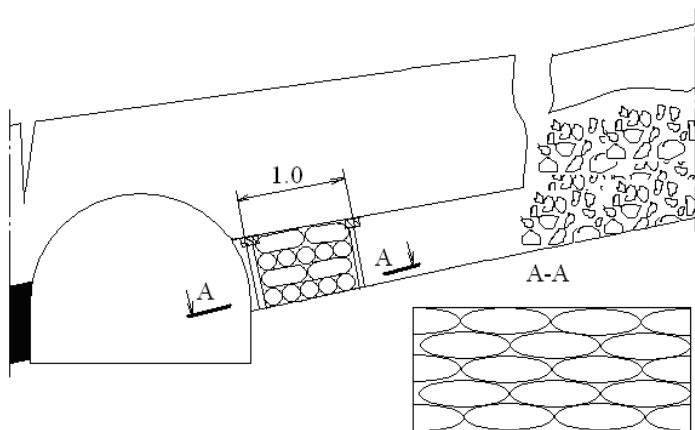
Регулировать производительность карьера по руде предлагается за счет изменения угла наклона рабочего борта карьера на участках концентрации горных работ, а также протяженности и количества данных участков. При этом благодаря изменению порядка отработки участков концентрации горных работ можно обеспечить работу карьера с минимальным текущим коэффициентом вскрыши.

Перспективы использования охранных сооружений из породных опорных элементов

Касьян Н. Н., Новиков А. О., Петренко Ю. А., Голембиевский П. П.
Донецкий национальный технический университет

Отработка угольных пластов с высокой газоносностью на многих шахтах производится с применением сплошной или комбинированной систем разработки. Охрана выемочных выработок осуществляется бутовыми полосами, тумбами БЖБТ, литыми полосами.

В ДОННТУ разработана технология возведения охранных сооружений из рядовой породы с использованием ограничивающих поверхностей. Общий вид охрannого сооружения показан на рисунке.



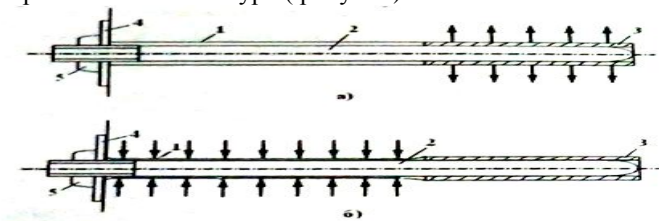
Общий вид охрannого сооружения

Порядок возведения охрannого сооружения из опорных породных элементов следующий. По почве, вдоль выработки, выкладывается первый ряд опорных элементов. Их укладывают с перехлестом между соседними элементами как при кирпичной кладке. Элементы второго ряда укладываются в две полосы перпендикулярно оси выработки, при этом, элементы выкладываются так, чтобы не перекрыть пустоту, образованную при выкладке первого ряда. Третий ряд выкладывался подобно первому. Четвертый и пятый ряды выкладываются по вышеописанному принципу. Результаты лабораторных и шахтных исследований подтвердили ее высокую эффективность. Стоимость таких сооружений на порядок ниже стоимости возведения литой полосы.

Обоснование геомеханических условий для безклеевого закрепления анкеров при естественном деформировании стенок шпура

Новиков А. О., Касьян Н. Н., Петренко Ю. А., Голембиевский П. П.
Донецкий национальный технический университет

На сегодняшний день наибольшее распространение получил способ закрепления анкерной крепи с помощью различных полимерных смол. В общей стоимости установки одного анкера до 40% составляет стоимость скрепляющих материалов. Поэтому поиск и разработка альтернативных, ресурсосберегающих способов закрепления анкерной крепи является актуальным. В направлении решения данной технической задачи в ДОННТУ предложен новый способ закрепления анкера за счет естественного деформирования стенок шпура (рисунок).



Способ безклеевого закрепления анкера

Реализация разработанного способа закрепления анкера производится в два этапа. На первом этапе в пробуренный шпур 1 вводится анкер 2, который с помощью пластмассовой втулки 3 закрепляется в донной части скважины. После этого устанавливают опорную плиту 4 и с помощью гайки 5 производят предварительное натяжение анкера. На втором этапе за счет деформирования стенок скважины производится закрепление анкера по всей длине, что возможно только в случае, когда конвергенция стенок скважины превышает разность между диаметром шпура и анкера.

Проведенное физическое моделирование показало, что независимо от прочности на одноосное сжатие процесс разрушения материала вокруг отверстия происходит при соотношении прочности материала на сжатие к среднедействующему напряжению равном 0,5. Для определения участков по контуру выработки, на которых наиболее интенсивно происходят сдвиги пород проводятся шахтные исследования деформаций стенок шпуров, пробуренных в различных направлениях от оси выработки, на разном расстоянии от забоя.

**Инновационные
технологии в геодезии и
картографии**

Информативность данных ДЗЗ для дешифрирования лесной растительности

Топаз А. А., Волосюк А. И.
Белорусский государственный университет

На современном этапе для устойчивого эффективного управления лесами и органами лесного и лесопаркового хозяйства необходима постоянно поступающая актуальная и объективная информация о состоянии и динамике лесных экосистем. Цель наших исследований заключалась в изучении и оценке информативности данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для дешифрирования лесной растительности на примере снимков со спутников Landsat-8 и БКА. Для достижения данной цели потребовалось решение следующих задач:

- изучить особенности дешифрирования лесной растительности по материалам ДЗЗ;
- дать оценку данным ДЗЗ, используемым в качестве основы для актуального мониторинга и картографирования лесной растительности;
- проанализировать применение материалов ДЗЗ для решения задач лесного хозяйства на примере отраслевого классификатора.

В качестве объекта исследования для оценки информативности данных ДЗЗ была выбрана территория заказника «Оброво», представляющая собой сложный лесной природный комплекс. При выполнении работ по обработке данных космической съёмки использовались программные продукты ENVI 5.3. и ArcGIS10.3.

В ходе исследования было установлено, что снимки БКА и Landsat-8 обладают достаточной информативностью, позволяющей успешно применять их для решения задач, стоящих перед лесным хозяйством. Так, данные БКА обладают пространственным разрешением достаточным для получения выходного картографического материала детального уровня, а Landsat 8 - основного и обзорного. Наиболее информативными являются зелёный, красный и ближний ИК каналы обоих спутников. Снимки БКА обладают более высоким пространственным разрешением, однако, уступают снимкам Landsat-8 по количеству спектральных каналов и их охвату. Снимки с обоих спутников неприменимы для мониторинга пожароопасности лесов из-за низкого временного разрешения.

Таким образом, выбор конкретных материалов ДЗЗ при проведении исследований должен определяться требуемым пространственным, спектральным, радиометрическим и временным разрешением, а также территориальным охватом.

Выбор оптимального метода классификации космоснимков для целей автоматизированного дешифрирования видов земель

Топаз А. А., Бокач И. Н.

Белорусский государственный университет

В настоящее время перспективным направлением мониторинга земельных угодий является их картографирование посредством автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Цель наших исследований заключалась в изучении особенностей практического применения методов цифровой обработки спутниковых данных Landsat-8 для распознавания видов земель. Для достижения данной цели потребовалось решение следующих задач:

- сбор, оценка и проведение предварительной обработки исходных данных ДЗЗ Landsat-8;
- выполнение тематической обработки снимков;
- оценка полученных результатов и возможностей использования мультиспектральных данных.

Объектом исследования была выбрана территория, прилегающая к Вилейскому водохранилищу. В качестве исходных данных использовался многозональный снимок Landsat-8 (дата съемки 11.04.2017 г.), полученный из архива Геологической службы США. Для выполнения работ по цифровой обработке данных использовался программный пакет ENVI 5.3.

Предварительная обработка космического изображения Landsat-8 включала радиометрическую калибровку и атмосферную коррекцию.

Для дальнейшей работы и интерпретации результатов с помощью построения классифицированных изображений была разработана легенда условных обозначений видов земель на основе европейского классификатора CORINE. Тематическая обработка космического снимка включала классификацию многозонального изображения различными способами и алгоритмами, в результате чего был выбран наиболее достоверный - способ расстояния Махалонобиса. Анализ результатов тематической обработки спутниковых данных выполнялся на основе визуальной и математико-статистической оценки точности с построением матриц ошибок.

Результаты выполненных экспериментальных работ позволяют сделать вывод, что космические снимки Landsat-8 целесообразно использовать для идентификации различных видов земель, однако в некоторых случаях пространственного разрешения данного спутника недостаточно при тематической обработке.

Градусное измерение дуги параллели 52° с. ш. на территории Беларуси

Романкевич А. П., Храмов В. М., Гордиук А. И.
Белорусский государственный университет

К середине XIX столетия был накоплен богатый опыт проведения градусных измерений для определения фигуры и размеров Земли. Измерения проводились в основном вдоль меридианов. При измерениях вдоль параллелей, астрономические работы выполнялись с невысокой точностью до тех пор, пока для определения долгот не стали использовать электрический телеграф.

В 1857 г. директор Пулковской обсерватории В. Я. Струве на заседании Парижской Академии наук предложил объединить триангуляцию по параллели между 47° и 48° от Атлантического океана до границы с Россией, протяженностью 33° по долготе с Новороссийским измерением, выполненным в период с 1849 по 1856 гг. В 1860 г. О. В. Струве возобновил переговоры с учеными-геодезистами Германии, Бельгии, Англии по разработке проекта градусного измерения и встретил их поддержку и готовность к проведению совместных исследований. В результате обсуждения международного соглашения в 1861 г. было принято решение провести градусные измерения вдоль параллели 52° с. ш., поскольку результаты выполненных измерений дуги параллели 47° на территории южной Германии и Франции по своей точности не могли быть использованы для целей научных исследований градусных измерений. Дуга 52° простираясь с запада от острова Валенсия (Ирландия) на восток до г. Орска (Россия) представляла самую длинную дугу параллели в Европе.

Полевые астрономические и геодезические работы в рамках Центрально-европейского градусного измерения параллели 52° с. ш. проводились на протяжении 25 лет с 1861 по 1886 гг. под руководством Э. И. Форша и И. И. Жилинского. По протяженности геодезические измерения параллели 52° с. ш. охватили 63° 31' по долготе, что составило более шестой части всей параллели.

Градусные измерения дуги параллели 52° пересекли всю территорию современной Республики Беларусь с запада на восток, а их протяженность по долготе составила 7° 57'. Всего в измерения были включены 52 геодезических пункта, закрепленных на местности в период с 1827 по 1866 гг. и образующих триангуляционный ряд из 55 треугольников (6 из которых частично расположены на территории Беларуси).

Особенности создания учебных карт по физической географии для учреждений высшего образования

Храмов В. М., Климкович В. А.

Белорусский государственный университет

При создании учебных карт по физической географии для учреждений высшего образования следует учитывать множество факторов. Среди основных следует отметить:

- согласованность содержания с учебными программами и пособиями;
- выбор оптимальной математической основы для наилучшего отображения картографируемой территории;
- использование картографических способов изображения, наиболее полно передающих и отображающих необходимые объекты и явления;
- актуальность и достоверность.

Учебные карты по физической географии для учреждений высшего образования по степени нагрузки должны создаваться на уровне научно-справочных. Они представляют собой более высокий уровень изданий по отношению к другим учебным картам. Для обеспечения соответствия содержания карты учебной программе проводится работа по выбору полноты и подробности изображаемых объектов и явлений, с этой целью устанавливаются оптимальные критерии генерализации. Все необходимые объекты, процессы и явления, изложенные в учебных пособиях, должны быть в полной мере отражены на карте.

При выборе математической основы учитывается положение, размер и конфигурация картографируемой территории, возможность оптимального размещения всех элементов карты. Следует отдавать предпочтение проекциям, разработанным для научно-справочных карт и высшей школы.

Важными свойствами для учебных географических карт являются наглядность, читаемость, выразительность. Для этого тщательно разрабатывается система условных знаков. Учитывая, что учебные карты для учреждений высшего образования имеют высокую нагрузку (близкую к научно-справочным картам) и подготовленных читателей, следует отдавать предпочтение компактным и формализованным условным знакам, например, геометрическим значкам, а не наглядным. Особое внимание уделяется разработке красочного и штрихового оформления.

Создаваемые карты для учреждений высшего образования должны представлять собой единую систему взаимосвязанных картографических произведений, при проектировании которых были определены принципы составления карт и их совместного использования.

Иконограмметрия как интегрирующая наука об измерениях объектов по их изображениям

Жумарь П. В.

Белорусский государственный университет

Разнообразие технологий, методов и способов получения материалов дистанционного зондирования обусловили формирование новых научных направлений, изучающих закономерности получения изображения земной поверхности, а также определения ее метрических характеристик. Исторически первой наукой, изучающей метрические свойства геоизображений, стала фотограмметрия. Пока единственным их источником были фотокамеры, она занимала доминирующее положение. Дальнейшее развитие технических средств регистрации электромагнитного излучения дало возможность создать целые классы аппаратов, создающих нефотографические геоизображения. Для извлечения из них информации, необходимой для картографирования, потребовались методики и технологии, отличные от фотограмметрических. В качестве примера можно привести радиолокационную съемку, лазерное сканирование и др. Поэтому появились и новые научные направления, их изучающие, такие как радарграмметрия, лидарграмметрия и др.

Несмотря на различия в способах и технологиях получения геоизображений, у всех этих научных направлений есть общность объекта и предмета исследования, а также решаемых задач. Кроме того, не исключена возможность синтеза геоизображений одного и того же объекта, полученных с разных носителей, построенных по разным технологиям, с разными характеристиками с целью его отражения со всем комплексом присущих ему качеств. Результатом будет новый класс геоизображений, в исключительной степени отличающийся точностью, наглядностью, мультитематичностью и другими качествами. Их обработка потребует особых уникальных методик, алгоритмов и технологий, общих для всех синтезируемых геоизображений. Следовательно, появляется еще и методическая общность. Эти общности можно считать основаниями для новой науки, интегрирующей вышеназванные. Ее можно назвать иконограмметрией от греческих слов *εἰκόνα* – образ; *το γράμμα* – письмо, запись; *μέτρηση* – измерение. Иконограмметрия – наука, изучающая способы получения изображения местности, его последующей обработки и определения по ним пространственного положения физических объектов на местности и их геометрических характеристик.

УДК 528.1

Эффективность использования материалов дистанционного зондирования Земли и графических редакторов при создании 3D-карты города Слуцка

Герман А. Р.

Белорусский государственный университет

К 3D-картам относятся карты, созданные в графических редакторах или ГИС, а также картографические произведения, главным принципом построения которых является зрительно-иллюзорное восприятие трехмерности изображения.

Способы создания трехмерных карт менялись на протяжении длительного периода времени. На современном этапе видится возможным преимущественно их компьютерное создание с использованием персонального компьютера, графического планшета, программ растровой и векторной графики, библиотек конструктивных элементов, красок и текстур. Важным элементом для создания трехмерных карт являются материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), размещенные в сети Интернет, например, на сайте www.mmaps.net (Google, Yandex, Bings, Wikimapia и др.). По данным снимкам возможно выполнение следующих работ: сбор материалов и изучение местности, проектирование панорамной карты, составление основы, разработка рисунков зданий, отображение растительности, графическое и цветовое оформление.

При проектировании карты целесообразно использовать Google Earth, который позволяет выбрать направление главного луча (ГЛ) проецирования и угол наклона между главным лучом и картинной плоскостью. Для панорамы центральной части Слуцка эмпирическим путем было выбрано северо-западное направление ГЛ проецирования.

Для составления основы карты Слуцка из Google Earth копировался участок местности, который трансформировался в перспективную проекцию. Далее векторизовались проекции зданий и линейные объекты (линии улиц, рек, контуры парков и др.). Материалы ДЗЗ использовались также в цветовом оформлении карты-панорамы.

Таким образом, можно отметить ряд преимуществ использования материалов ДЗЗ в совокупности с применением графических редакторов перед традиционными способами составления карт: достоверность и графическая точность первоисточников, сокращение сроков и упрощение «полевого» этапа сбора материалов, высокое графическое качество работы, сокращение ручного труда и сроков создания карты-панорамы, возможность быстрого и качественного обновления.

**Спектральная отражательная способность природных объектов
как основа для их распознавания по материалам ДЗЗ**

Хрущёва Е. О.

Белорусский государственный университет

Результативность распознавания по аэрофотоснимкам объектов зависит от их особенностей и наличия соответствующих дешифровочных признаков. Одним из наиболее важных является спектральная отражательная способность.

Знание особенностей спектральной яркости природных объектов позволяет разрабатывать способы и приёмы обработки материалов дистанционного зондирования Земли, в том числе и для эффективной классификации объектов земной поверхности.

Различные природные объекты имеют разные коэффициенты спектральной яркости по всей зоне электромагнитного спектра. Так, на аэрокосмоснимках мы можем достоверно распознать четыре класса природных объектов: водные объекты, почвы и горные породы, растительность, снег и облака [Кринов, 1947]. Но для более детальной классификации: по видам растительности, типам почв и т. д., нам необходимо больше данных. Для этого целесообразно проводить наземные подспутниковые измерения с заложением эталонных участков. Полученные данные спектральной отражательной способности в полевых условиях затем загружаются в программу обработки снимков, и по ним проводится дешифрирование. Это позволяет провести более тонкое распознавание природных объектов, проследить их динамику, например для растительности, за вегетационный период [Беляев, Казяк, Хрущёва, 2016].

Спектральная отражательная способность зависит не только от времени съёмки, а также от характеристик объектов, их состояния, влияния загрязнений и содержащихся в них веществ. Знание яркостных характеристик природных объектов и явлений позволяет проводить их исследования с использованием аэрокосмических снимков, что значительно ускоряет рабочий процесс. Однако, для получения более точных результатов появляется необходимость подспутниковых измерений.

В общей сложности, спектральная отражательная способность природных явлений и объектов является одной из основных характеристик, которые позволяют с большой вероятностью интерпретировать их на аэрокосмических снимках, отслеживать их динамику.

**Возможности и перспективы использования пакета плагинов Avenza
MAPublisher при тематическом картографировании**

Толпинский А. С.

Белорусский государственный университет

Перспективы развития картографии (производства и науки) определяются непрерывным и быстрым ростом потребления карт, и повышением их роли во всех сферах жизни общества. Создание новых карт и атласов означает рост и накопление поистине колоссального количества пространственной информации. Также бурно растет количество программных средств, предлагаемых современным рынком информационных технологий. Основной проблемой современной картографии в Беларуси представляется разделение между так называемой «классической картографией», делающей большой упор на средства представления картографической информации, их красочной передаче на двухмерной поверхности. С другой же стороны находятся ГИС, создающие картографические произведения обладающие высокой математической точностью, способностью к быстрому изменению, обновлению и добавлению картографической информации.

Выход из сложившейся ситуации может быть найден во внедрении пакета плагинов Avenza MAPublisher, который предлагает дополнительные панели, функции и инструменты для Adobe Illustrator, которые позволяют использовать файлы данных ГИС в качестве базы для производства карт.

Важной особенностью является возможность присвоения атрибутивной информации всем векторным объектам на карте и автоматическое нанесение на карту определенной атрибутивной информации. Все эти функции представлены в ГИС-программах, однако данный пакет плагинов предоставляет функции Adobe Illustrator для последующего форматирования и оформления всех векторных объектов. Также важна возможность использования в процессе создания карт основных форматов ГИС и САП.

Таким образом нельзя отрицать возможности пакета плагинов Avenza MAPublisher в нивелировании разрыва между географическими информационными системами (ГИС) и высококачественным графическим программным обеспечением.

**Установление эмпирических связей между скоростями
современных вертикальных движений земной коры
и статическими геолого-геофизическими данными территории
Республики Беларусь**

Маркович К. И.

Полоцкий государственный университет

Прогнозирование скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) в пространственно-временном аспектах может выполняться как на основании результатов изучения общих закономерностей исследуемого процесса и применения его в прогнозируемых областях, так и методами аналогии путем установления соотношений и корреляционных связей между скоростями СВДЗК, геофизическими полями, историей развития и различными элементами геологических структур – мощностью земной коры, ее блоковой структурой и разломной тектоникой.

Классическим примером использования первого подхода является применение простого линейного интерполирования при прогнозировании скоростей СВДЗК, примером второго подхода - методы математического моделирования, использующие различные исходные данные и методику расчета для прогнозирования скоростей СВДЗК.

В докладе приведен обзор существующих подходов по прогнозированию скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) в пространственно-временном аспектах. Представлены их недостатки, связанные с тем, что они не учитывают комплексную природу геодинамических процессов, сопровождающуюся деформациями земной коры, изменением геофизических полей, корреляцией с рельефом и внутренним строением Земли. Отмечено, что среди всех существующих методов прогнозирования максимально условию комплексности в плане установления эмпирических связей между СВДЗК и геолого-геофизическими данными удовлетворяет подход Каратаева Г.И., связанный с аксиоматической корреляционной моделью прогноза различных параметров земной коры по гравитационным и магнитным аномалиям.

На основании данного подхода в докладе представлены результаты прогнозирования в пространственно-временном аспектах скоростей СВДЗК Республики Беларусь. Придерживаясь полной комплексности подхода автором выполнен поиск корреляционных связей скоростей СВДЗК с такими статическими геолого-геофизическими параметрами как гравитационное и магнитное поле, мощность земной коры, рельеф дневной поверхности, тектоническое районирование.

УДК 528.23 (075.8)

О формировании координатного обеспечения современных систем проектирования и строительства линейных объектов большой протяженности

Подшивалов В. П., Кабацкий А. В.

Белорусский национальный технический университет

Территория Республики Беларусь является транзитной для транспортных сооружений различного назначения, включая транснациональные, отличающиеся большой протяженностью и различной ориентацией на местности. Современные транспортные сооружения отличают автоматизированные методы проектирования, высокая степень механизации строительства и реконструкции, наличие развитой инфраструктуры, описывающей состояние транспортного сооружения в режиме реального времени для обеспечения его рациональной эксплуатации. По сути вопрос стоит о необходимости создании геоинформационных систем (*ГИС*) соответствующего назначения. Как известно, в *ГИС* любого назначения определяющим является обеспечение соответствующего координатного описания пространственно-распределенных элементов системы. Существующие координатные системы, применяющиеся в различных странах, не отвечают требованиям *ГИС*, поскольку не обладают свойствами приспособляемости к форме границ, размерам и ориентации в пространстве изображаемых территорий. Например, если взять проекцию Гаусса-Крюгера или *UTM*, то линейные объекты, вытянутые с запада на восток, а в проекции Ламберта объекты, вытянутые с севера на юг, располагаются в нескольких координатных зонах. Это затрудняет создание единой автоматизированной транспортной инфраструктуры.

Нами разработаны общая теория и общий алгоритм описания класса проекций для *ГИС* различного назначения, в рамках которого возможно формировать единую систему координат для различных линейных объектов. В основе формирования такой системы координат лежит конформное отображение поверхности земного эллипсоида на плоскости, допускающее выбор наилучшей проекции, отвечающее требованиям критерия Чебышева-Граве в автоматизированном режиме. В такой проекции изокола (линия равных искажений) аппроксимируется с осью линейного сооружения. Теория и алгоритм реализованы в программном комплексе фирмы *CREDO*.

**О выносе в проектное положение оси трассы линейных объектов
большой протяженности**

Подшивалов В. П., Гриб В. Г.

Белорусский национальный технический университет

До настоящего времени в учебных и нормативно-технических источниках предлагаются различные методы вынесения в проектное положение элементов оси трассы линейных сооружений. Разнообразие имеет место при разбивке криволинейных участков оси трассы. Предложение различных методов для разбивки криволинейных участков оси трассы вызвано возможностями применяемых геодезических приборов, необходимой точностью и детальностью разбивочных работ, а также условиями прохождения трассы на местности.

В современных условиях координатное обеспечение вдоль оси трассы может быть обеспечено в условиях Беларуси, приемом информации о положении центра приборной системы (тахеометр-спутниковый приемник) в затребованной системе координат с постоянно действующих пунктов государственной спутниковой системы позиционирования, равномерно покрывающих всю территорию страны. Проектные координаты оси трассы задаются на всех ее элементах для детальной разбивки по формулам аналитического описания оси трассы в соответствующей системе координат, обеспечивающей общую координатную систему на всем протяжении трассы. При необходимости производится трансформирование системы координат в систему координат ГИС трассы. Для этого можно воспользоваться программой, разрабатываемой фирмой *CREDO* на основе нашего алгоритма, которая будет доступна для потребителей в ближайшее время.

Далее предлагается производить детальную разбивку на местности пикетажных точек электронным тахеометром, независимо от их положения, как на прямолинейных, так и криволинейных участках в координатном режиме с точностью, необходимой и достаточной для конкретного вида сооружения. При этом необходимо обратить внимание на то, что расстояние между пикетами на местности и расстояния, вычисленные по координатам на прямолинейных участках оси трассы, будут отличаться в зависимости от продольного уклона.

**Экспериментальные измерения осадок сооружений
высокоточным нивелированием и электронным тахеометром**

Михайлов В. И., Буневич Н. С.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространенный метод измерения осадок сооружений – геометрическое нивелирование II класса. Тригонометрическое нивелирование коротким лучом электронным тахеометром Sokkia SET 3130 может успешно конкурировать с традиционным методом.

В качестве экспериментальных измерений на вытяжной трубе высотой 119 м ОАО «Гродно Азот» выполнено электронным тахеометром два цикла наблюдений за деформациями девяти осадочных марок. Измерения осуществлялись одним приемом при двух положениях вертикального круга по визирной цели на отражательной пленке, закрепленной на масштабной линейке. Наблюдения проводились в условиях вибрации, создаваемыми генераторными установками и работающими прессами в цехах.

Вычисление превышений и уравнивание отметок марок выполнено в программном комплексе «CREDO DAT». Для всех измерений электронным тахеометром проведен также контроль места зенита. Максимальное расстояние до марок равнялось 30 м, а минимальное – 3 м.

Полученные результаты сравнивались с данными периодического нивелирования II класса этих же марок, выполненного нивелиром Konі 007.

Было установлено, что измерения на трех марках с цилиндрической головкой имеют расхождения в отметках меньше, чем на марках из металлических уголков. По-видимому, установка инварных реек и отражающей пленки на марках первого типа более устойчива, чем на марках из уголков.

Средняя квадратическая погрешность определения превышения электронным тахеометром равна 0,39 мм. Применение более точного прибора для этих целей, например, TCRA 1201 может повысить точность тригонометрического нивелирования до 0,2 мм.

Полученные данные экспериментальных наблюдений позволяют выявить некоторые преимущества данной методики.

1. Возможность выполнять измерения одним исполнителем, если заложены осадочные марки с отверстием диаметром 1,5-2 мм.

2. Отмечается более высокая производительность нивелирования при перепадах высот и измерениях с большим количеством марок с одной станции.

3. Отпадает необходимость использования инварных реек.

Определение координат точек файлом локализации с помощью GNSS-системы

Михайлов В. И., Студенко В. Е., Радцевич Е. И.
Белорусский национальный технический университет

Процесс локализации позволяет из сопоставления координат пар точек вычислить параметры связи различных систем отсчета. Чаще всего при неизвестных параметрах перехода к локальной плоской системе координат возникает задача перейти от глобальных геодезических координат в системе WGS-84 к местным координатам. Это означает, что следует вычислить параметры трансформации местной плоскости для ограниченной территории работ, касательной к поверхности эллипсоида.

Для этого необходимо загрузить в проект значения в системе местных координат нескольких точек и измерить с помощью спутникового оборудования GNSS-координаты этих же точек в режиме реального времени. Для определения места положения двух пунктов с целью топографической съемки участка строительства нами было использовано пять пунктов полигонометрии. Измерения могут выполняться как кинематическим, так и статическим методам, но с постобработкой. В этом случае процесс локализации происходит в офисном программном обеспечении.

Процесс локализации осуществляется в следующей последовательности:

1. Получение кроков с элементами привязки в Госкартгеоцентре для нахождения пунктов полигонометрии и их обследование вокруг участка необходимого для локализации.
2. Получение координат пунктов в системе координат г. Минска и их загрузка в данный проект.
3. Измерение GNSS-координат каждого пункта и преобразование их в систему WGS-84.
4. Создание файла локализации в системе координат города Минска.

На основе данных локализации программный комплекс Carlson SurvPS пересчитывает необходимые точки в систему координат города Минска. При этом поправки поступают по каналу сотовой связи от GPS-оператора РУП «Белгеодезии».

В результате применения параметров локализации все текущие координаты будут отображаться в системе координат города Минска и все точки данного проекта, включая положение базовых станций, сохраняться в этой системе.

Основные этапы развития астрономо-геодезической сети Республики Беларусь

Мкртычян В. В., Айдари К.

Белорусский национальный технический университет

В 1926 году на «Первом геодезическом совещании» было принято решение о введении в СССР эллипсоида Бесселя и обращении триангуляции 1-го класса в астрономо-геодезическую сеть (АГС).

В 1928 году была издана «Схема и программа государственной триангуляции» составленная Ф. Н. Красовским.

В 1930 г. под руководством Ф. Н. Красовского началось уравнивание 1-го класса для Европейской части СССР. Система получила название «Система координат 1932 г.». Дальнейшее развитие астрономо-геодезической сети СССР регламентировались «Основными положениями о государственной геодезической сети (ГГС)» 1939 и 1948 годов.

Основным методом построения астрономо-геодезической сети была принята триангуляция.

В 1942-ом году в качестве государственной была принята система координат 1942 года (СК-42).

В 1968 году начались работы по созданию сети пунктов спутниковых наблюдений с помощью астрономических фотоустановок АФУ -75. Астрономо-геодезический пункты оснащенный такой установкой был организован в Гомеле.

В 1994 году было завершено совместное уравнивание трех независимых геодезических сетей астрономо-геодезической, космической и доплеровской.

Геодезическая сеть, полученная из совместного уравнивания АГС, КГС и ДГС и получившая название система координат 1995 года (СК-95) была принята в России в качестве государственной.

По состоянию на 1997 год на территории Беларуси было определено 2509 пунктов астрономо-геодезической сети. АГС включала в себя: ряды триангуляции 1 класса и сплошные сети 1 и 2 классов.

Дальнейшее развитие ГГС Республики Беларусь исходило из принятой концепции единства геодезических сетей России и Беларуси.

С этой целью пункты ГГС Беларуси были связаны с государственной геодезической сетью России в рамках согласованного технического проекта.

Современная астрономо-геодезической сеть Республики Беларусь в СК-95 характеризуются средними квадратическими погрешностями взаимного положения не превышающими 2 см.

Об упрощенном уравнивании полигонометрических ходов¹Другаков П. В., ²Позняк А. С.¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»²Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в геодезическом производстве появились новые приборы. Вместо теодолитов, мерных лент, оптических нивелиров широко используются электронные тахеометры, цифровые нивелиры, GNSS-приемники. Эти геодезические приборы обеспечивают высокую точность измерений недоступную в 50-90 годы XX века. Погрешности линейных измерений уменьшились в несколько раз. Соответственно уменьшились и невязки в геодезических сетях. Таким образом, появилась возможность вообще отказаться от уравнивания (приближения результатов измерений к вероятнейшим значениям и оценки их точности), как это предсказывал в 70-е годы XX века П.С. Закатов.

Для сравнительной оценки точности определения координат точек при уравнивании по методу наименьших квадратов (коррелятным и параметрическим) и упрощенным («теодолитным») выполнена математическая обработка двух одиночных полигонометрических ходов и полигонометрической сети из четырех ходов, исходные данные для которых получены из трех различных учебных источников. При этом изменялись в определенных пределах средние квадратические погрешности угловых и линейных измерений и использовались различные общедоступные программные продукты и популярный, коммерческий комплекс «CREDO».

Результаты уравнивания различными методами показали, что координаты определяемых точек или совпадают или несущественно отличаются. При этом трудоемкость, временные и стоимостные затраты на уравнивание по методу наименьших квадратов в несколько раз превышают «теодолитный».

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Эффективность выполнения работ по уравниванию полигонометрических ходов зависит от наличия необходимого программного обеспечения, вычислительной техники, времени и достоверных знаний о точности измерений.

2. В учебных целях, при дефиците времени и отсутствии дорогостоящего программного обеспечения для студентов строительных специальностей можно ограничиться использованием упрощенного («теодолитного») метода уравнивания полигонометрических ходов.

Об оптимальном угле прямой угловой засечки при разбивочных работах

Позняк А. С., Крупица С. М., Будов М. А.
Белорусский национальный технический университет

Способ прямой угловой засечки обычно применяется для разбивки несущих конструкций мостов и гидротехнических сооружений. Положение проектной точки P на местности находят построением горизонтальных углов β_1 и β_2 с концов базиса засечки d_{1-2} . Так как построение углов выполняется обычно одним и тем же прибором то очевидно, что абсолютная величина погрешности построения точки на местности m_P будет возрастать с увеличением базиса засечки и зависит от угла засечки γ , формы треугольника. В соответствии с результатами исследований А. С. Чеботарева, Г. П. Левчука и др. наиболее выгодной фигурой засечки является равнобедренный треугольник с углом засечки $\gamma = 90^\circ 00'$. В этом случае относительная погрешность угловой засечки минимальна, а при $\gamma = 30^\circ 00'$ и $\gamma = 150^\circ 00'$ вдвое больше чем при $\gamma = 90^\circ 00'$. Однако в строительстве при разбивочных работах важно соблюдение расчетных или нормативно-допустимых абсолютных погрешностей и средняя квадратическая погрешность (СКП) прямой угловой засечки определяется по следующей формуле

$$m_P = \frac{m_\beta \cdot d_{1-2}}{\rho \cdot \sin^2 \gamma} \cdot \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2},$$

где m_β - СКП построения углов β_1 и β_2 .

Результаты исследования на минимум этой формулы показывают, что оптимальный угол прямой угловой засечки равен $109^\circ 28'$. В этом случае величина абсолютной погрешности в положении точки на 10% будет меньше, чем при засечке под прямым углом.

Следует отметить, что на точность разбивки кроме самого способа угловой засечки оказывают влияние также следующие погрешности: исходные данные (в данном случае погрешность в длине базиса и его ориентировании), центрирование и редукция, фиксация разбиваемой точки на местности. Для контроля разбивки применяют способ замкнутого треугольника, в котором измеряют все углы, распределяют невязку, вычисляют координаты разбиваемой точки, сравнивают их с проектными и при необходимости точку смещают в натуре.

Выполнение топографо-геодезических работ на археологических объектах

Рак И. Е., Кашура В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Выполнение археологических работ всегда сопровождается задачей, связанной с исследованием, объединением материалов прошлых лет и приведение их в единую координатную среду. Решение этой задачи в общем случае выполнялось в три этапа:

– Пересчет координат опорных точек материала (меток, пересечений линий координатной сетки, однозначно опознаваемых точек твердых контуров) из СК исходного материала в рабочую систему координат.

– Трансформирование исходного материала (растрового, векторного) в рабочую СК линейно-кусочным (триангуляция) или аффинным преобразованием.

– Создание объединенной цифровой модели памятника.

Пересчет координат опорных точек выполнялся, в зависимости от характера, математической основы материала, разными способами. Все пересчеты между различными системами координат позволяет выполнить программа КРЕДО ТРАНСКОР. **Трансформирование** растровых и векторных материалов в единую координатную среду осуществлялось нелинейной трансформацией фрагментов и рисунков по группам опорных точек с задаваемыми определенными пересчетом координатами. Механизм аффинной трансформации позволяет представить разнородные (в разных системах координат), частично деформированные и разномасштабные материалы в едином, однородном координатном пространстве. Трансформация материалов выполнялась в программе КРЕДО ТРАНСФОРМ. **Создать цифровую модель**, включающую в себя ситуацию (с полным семантическим наполнением) и рельеф на основе растровых изображений, подготовленных в ТРАНСФОРМ на основе данных, полученных в результате полевых работ, позволяет выполнить программа КРЕДО ТОПОПЛАН. В конечном итоге, созданная цифровая модель позволяет формировать и выпускать планы различного назначения, содержания и масштаба. Примерами использования такой технологической цепочки могут служить объекты, на которых работали студенты-волонтеры в рамках проекта «Экспедиция CREDO»:

- реконструкции боев Эльтигенского десанта, возле г. Керчи;
- «Храмовый комплекс «Вестник» (Азиатский Боспор)», г. Тамань;
- территории поселений Боспорского царства: Михайловка, Пантикапей, Нимфей, Илурат, Китей.

Исследование закона распределения ошибок в высокоточных спутниковых измерениях¹Будо Ю. П., ²Будо А. Ю.¹Полоцкий государственный университет²Белорусский национальный технический университет

Всё большую популярность в топографо-геодезическом производстве получают спутниковые методы измерений. Широкий выбор ГНСС-приёмников и программного обеспечения, поставляемого фирмами-производителями в комплекте с оборудованием, снижает стоимость и трудоёмкость работ, выполняемых инженерами-геодезистами. Высокая точность определения местоположения пунктов в спутниковых методах достигается путём выполнения фазовых измерений и их дальнейшего уравнивания, как в режиме реального времени, так и в процессе постобработки. При этом вмешательство пользователя в процедуру обработки, как правило, сведено к минимуму. При расчёте векторов базовых линий за основу принимается классическая теория погрешностей измерений, согласно которой все измерения подчиняются нормальному закону распределения. Тем не менее, в публикациях зарубежных учёных приводятся многочисленные примеры несоответствия высокоточных спутниковых измерений нормальному закону. Авторы доклада выполнили аналогичное исследование на примере объекта «Национальная библиотека Беларуси». В качестве предмета исследования были выбраны фазовые измерения, выполненные на пунктах плано-высотного обоснования опорной геодезической сети объекта. При выполнении работы был выполнен расчёт восьми векторов базовых линий. Для каждой рассчитанной линии выполнялся анализ соответствия вычисленных остаточных уклонений двойных разностей двум распределениям: нормальному и обобщённому экспоненциальному. Для нормального распределения отыскивались оценки двух характеристик: математического ожидания и стандарта. Для обобщённого экспоненциального – оценки математического ожидания, дисперсии и показателя степени n , который вычислялся при помощи адаптивной оценки Хогга. В представленных в докладе табличных и графических материалах приведены вычисленные параметры распределений и результаты соответствия законам распределения остаточных уклонений двойных разностей. Для всех восьми измеренных векторов базовых линий обобщённый экспоненциальный закон соответствовал измерениям с наибольшей оценкой максимального правдоподобия.

Регулирование земельных отношений в Республике Беларусь

Гармаза О. Е., Мысливчик Е. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Земельные отношения являются одним из основных элементов процесса в экономике любой страны. Они обуславливают экономические и социальные интересы общества и государства. Земельные отношения в Республике Беларусь регулируются Конституцией РБ, актами Президента РБ, Налоговым Кодексом, Кодексом РБ о земле. Земельные отношения выражают взаимодействие органов государственной власти, юридических лиц и граждан в вопросе владения, распоряжения и пользования земельными участками либо по поводу государственного управления земельными ресурсами.

Регулирование земельных отношений подразделяется на государственное и рыночное. Прежде всего данные отношения реализуются через земельную политику, проводимую государством посредством законодательных актов. Одними из элементов государственного регулирования земельных отношений являются предоставление и изъятие земельных участков, осуществление государственной регистрации прав на недвижимость и сделок с нею. Государственным регулированием земельных отношений называется система мер, направленных на обеспечение рационального и эффективного использования земли, ее охрану, воспроизводство и повышение плодородия почв, сохранение и создание благоприятной для людей окружающей среды, на защиту прав собственности, владения и пользования землей путем осуществления организационных, правовых, экономических действий. Государственное регулирование обеспечивает правовой базис, регламентирует экономические взаимоотношения субъектов земельного права. Рыночное регулирование земельных отношений осуществляется на основе взаимодействия спроса и предложения на землю как объект недвижимости в рамках существующей правовой базы и с учетом реальных условий использования земельных участков.

Основная цель совершенствования земельных отношений заключается в эффективном и целенаправленном использовании земель, повышении их плодородия и формировании хозяйства, заинтересованного в решении этих проблем. В целях защиты интересов населения Главой государства постоянно принимается ряд нормативных правовых актов в области регулирования земельных отношений.

Создание геодезической разбивочной сети при прокладке коллекторов методом микротоннелирования

Мысливчик Е. Ю., Гармаза О. Е.

Белорусский национальный технический университет

Микротоннелирование представляет собой бестраншейный метод строительства коллекторов в условия стесненной городской застройки. Данная технология позволяет выполнять задачи по прокладке коммуникаций в сложнейших условиях, где ранее без специальных методов, например, водопонижения, строительство было невозможно. Микротоннелирование дает возможность с сантиметровой точностью прокладывать под землей выработки большого диаметра, что обуславливает необходимость квалифицированного маркшейдерского сопровождения с использованием передовых методик и оборудования.

Первоначально на территории строительства выполняется подготовка геодезической основы - создается разбивочная сеть. Все виды создаваемых геодезических сетей на поверхности должны отвечать требованиям, предъявляемым к сетям 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов. Для ориентирования и центрирования подземных маркшейдерских опорных сетей в качестве необходимых пунктов используются пункты триангуляции (полигонометрии) 1-го разряда или опорных сетей более высокого класса. Подходные пункты располагаются не далее 100 м от устья стволов или порталов. Подходный пункт должен иметь не менее двух смежных с ним пунктов опорной сети, его закрепляют постоянными центрами с таким расчетом, чтобы обеспечить проложение от него к стволу (порталу) висячего полигонометрического хода 1 -го разряда с числом сторон не более двух. Пункты опорной геодезической сети закрепляют центрами, рекомендованными для местных условий соответствующими инструкциями и методическими указаниями.

Внешняя разбивочная сеть дает возможность выносить в натуру котлованы - стартовый и приемный, ориентиры для установки технических приспособлений. От внешней сети идет разработка внутренней разбивочной сети сооружений на использующихся в работе горизонтах. Подземная полигонометрия является основой для точного перенесения в натуру проекта всех тоннельных сооружений. При маркшейдерской разбивке и вынесении осей прокладываемой коммуникации точка пересечения оси коммуникации закрепляется на внутренней поверхности крепи шахты. В процессе прокладки тоннелей возникают деформации, что обуславливает необходимость производства повторных измерений.

УДК 528.48

Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли

Гарячий Г. Ф., Мкртычян В. В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время актуальность дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) очень велика. Благодаря последним достижениям в области искусственных спутников, несущих системы датчиков слежения за Землей, стало возможным использование огромного количества фотографий и других видов информации о поверхности Земли.

Достоинства метода дистанционного зондирования Земли заключается в следующем:

- актуальность данных на момент съемки;
- высокая точность обработки данных.
- высокая информативность (применение спектрально-инфракрасной и радарной съемки позволяет увидеть детали, не различимые на обычных снимках);
- экономическая целесообразность (затраты на получение информации средствами ДЗЗ существенно ниже наземных полевых работ);
- возможность получения трехмерной модели местности (матрица рельефа). С помощью данных ДЗЗ решаются многие важные научные и практические задачи экономического, социального и экологического развития как отдельных регионов, так и страны в целом. В настоящее время данные ДЗЗ широко используются:
- при решении задач в интересах сельского, лесного, водного хозяйств;
- поиски, инвентаризация, освоение природных ресурсов;
- обеспечении судоходства и транспортировки грузов;
- прокладке и контроле состояния различных коммуникаций;
- контроле чрезвычайных ситуаций и оценке экологической обстановки;
- охране природы;
- прогнозирование погоды и многое другое.

22 июля 2012 года был произведен пуск БКА и кластером из пяти космических аппаратов. Первые космические снимки из БКА были получены 29 августа 2012 года.

Белорусский наземный комплекс управления состоит из:

- станции приема космической информации;
- центра управления полетом БКА;
- командно-измерительного пункта;

В 2017 году срок работы БКА был продлен еще на 2 года.

Спутниковое определение координат и высот пограничных знаков при демаркации белорусско-латвийской государственной границы

Карлович М. Ф.

Белорусский национальный технический университет

Спутниковые технологии координатных определений имеют существенные преимущества перед традиционными. Им свойственны высокая точность, независимость от погоды и времени суток, оперативность, возможность определения координат при отсутствии взаимной видимости между пунктами.

Координирование пограничных столбов и дополнительных точек, а также определение высот производилось с применением двухчастотных GPS приемников.

Геодезическая сеть строилась с применением лучевого метода. При лучевом методе координаты определяемого пункта получали путем измерения вектора, соединяющего его с опорным пунктом. Для контроля координаты определялись дважды, то есть по результатам измерений, связывающих определяемый пункт с двумя опорными пунктами.

Программа полевых наблюдений состояла из одного сеанса продолжительностью 20 мин при длине линии менее 10 км и 30 мин при длине базовой линии свыше 10 км. При этом одна антенна находилась на одном из пунктов опорной спутниковой геодезической сети, а две другие на пограничных знаках. Таким образом, осуществлялась привязка пограничных знаков к опорной сети.

В случае невозможности установления станции над пограничным знаком, вблизи него на открытой местности закреплялся базис из двух точек, плано-высотное положение которых определялось с помощью GPS измерений. Затем от точек базиса линейно-угловой засечкой определяли координаты пограничного знака, а его отметку тригонометрическим нивелированием.

В качестве исходных для определения координат и высот были взяты пункты опорной спутниковой геодезической сети, расположенные в пятикилометровом коридоре от линии границы на территории Республики Беларусь и Латвийской Республики. От них выполнялось уравнивание планового положения и высот пограничных знаков.

Для получения окончательных координат пограничных знаков в системе координат 1942 года и высот 1977 года, в программе TGO, произведено перевычисление координат из системы WGS-84 в систему координат 1942 года и систему высот 1977 года.

Цифровой классификатор условных знаков и цифровой планшет

Кашура В. Н., Рак И. Е.

Белорусский национальный технический университет

Необходимость создания и утверждения единого цифрового классификатора и единой формы и цифрового планшета для крупномасштабного картографирования на всю территорию нашей страны назрела давно. Для этих целей разрабатывались новые условные обозначения – ТКП 45-2011(02250) (Инженерные изыскания для строительства, условные обозначения для инженерно-топографических планов масштаба 1:2000 – 1:200), которые утверждены и введены в действие приказом №100 от 07.04.2014 г. Министерством строительства и архитектуры.

Инженерно-топографические планы масштабов 1:2000–1:200, как правило, создаются как основа для проектирования зданий и сооружений, которое выполняется с применением различных систем автоматизированного проектирования (САПР).

При выполнении инженерно-геодезических работ для целей проектирования можно выделить два этапа.

Первый этап – выдача разрешений и материалов для выполнения работ связанных с составлением инженерно-топографических планов, выполняется государственными геодезическими службами областных подчинений. Архивы цифровых планшетов в геодезических службах хранятся в ПП AutoCad в формате DWG. Но цифровые классификаторы условных знаков и требования к составу цифровых планшетов у всех разные, что приводит к усложнению процесса обмена данными как внутри самих геодезических служб, так и по созданию цифрового инженерно-топографического плана исполнителями.

Второй этап – использование цифровых моделей местности для нужд проектирования. Здесь мы сталкиваемся с необходимостью импорта - экспорта инженерно-геодезических данных в различные САПР, со своими цифровыми классификаторами условных обозначений. Далеко не всегда удается выполнить операции импорта-экспорта без потери данных. И чтобы этого избежать приходится вновь и вновь создавать схемы соответствия условных знаков различных САПР, что приводит к нерациональному использованию существующих архивных ЦММ и увеличивает сроки по выполнению инженерно-геодезических работ.

Решить возникающие вопросы на всех этапах возможно лишь с утверждением единого цифрового классификатора и цифрового планшета.

Сравнительный анализ различных способов подсчета объемов земляных масс

Кабацкий А. В., Куприенко Н. О., Белов А. А.
Белорусский национальный технический университет

Для сравнения результатов подсчета объемов земляных масс был выбран участок с размерами сторон 120×80 м. Участок разбит на квадраты 40×40 м. Проектное преобразование рельефа выполнялось под наклонную плоскость с продольным и поперечным проектными уклонами равными 5 и 10 ‰ соответственно, при соблюдении баланса объемов земляных масс в выемке и насыпи. Отметка центра масс была принята неизменной для всех способов подсчетов и рассчитывалась по формуле

$$H_{ц.т.} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4}{4n},$$

где H_i – отметка вершины, принадлежащей соответственно одному, двум или четырем квадратам.

Объемы земляных масс определялись четырьмя способами: по формуле В. И. Стрельчевского, способом призм, при помощи программного продукта AutoCAD Civil 3D, при помощи программного комплекса CREDO ОБЪЕМЫ.

Результаты вычислений приведены в следующей таблице.

Способ подсчета	Объемы, м ³		Разность объёмов, м ³
	Насыпь	Выемка	
По формуле Стрельчевского	888	888	0
Способом призм	883	883	0
AutoCAD Civil 3D	898,7	899,9	1,2
CREDO Объёмы	880	948	68

Сравнительный анализ данных позволяет сделать вывод о том, что все способы расчётов дают схожие результаты, а так же соблюдается баланс перемещаемого грунта. Исходя из этого и в связи с невозможностью точного определения реальных объёмов земляных масс, при выборе способа подсчетов необходимо руководствоваться доступностью и удобностью самого способа.

**Геодезическое обеспечение строительства на объекте
«Автомобильный путепровод транспортной развязки
на пересечении ул. 1-е кольцо с пр. Дзержинского»**

Воронович А. О.

Белорусский национальный технический университет

Объект строительства представляет собой автомобильный путепровод. Автомобильный путепровод в плане расположен на кривой радиусом 780 метров. Путепровод находится в зоне интенсивного транспортного движения, что требует высокого уровня геодезического сопровождения строительно-монтажных работ.

Для выполнения работ по выносу объекта в натуру необходимо обеспечить требуемую точность разбивки осей опирания балок пролётных строений, осей свай, осей опорных частей.

Исходя из указанных требований, указанных в проектной документации, размеров и геометрии сооружений на объекте, точность линейных и угловых измерений при создании планово-высотной опорной геодезической сети объекта должна соответствовать следующим требованиям:

- угловые измерения производятся со средней квадратической ошибкой (СКО) не более $5''$ по результатам уравнивания;
- линейные измерения производятся с относительной СКО не более $1:10\ 000$ по результатам уравнивания.

Исходя из класса сложности объекта и стесненных условий при производстве строительно-монтажных работ рекомендуется использование электронных тахеометров с применением метода «свободной станции», который наиболее эффективен при создании геодезических разбивочных сетей на строительных горизонтах, при выносе в проектное положение элементов строительных конструкций, исполнительных съемках, мониторинговых геодезических наблюдениях.

После того, как произведено координирование и ориентирование прибора от трех и более исходных пунктов, приступают к координированию разбивочных сетей, выносу в проектное положение элементов строительных конструкций. Для обеспечения необходимой и однородной точности координатных определений и оценки точности результатов измерений на каждой свободной станции необходимо производить измерения с перекрытием, что особенно важно при создании разбивочных сетей. Особо важные конструктивные элементы должны быть вынесены с двух станций для контроля и оценки точности результатов.

**Сравнительный анализ правильности хода фокусирующей линзы
в оптико-механическом и цифровом нивелирах**

Пожелаева К. А., Сорокин М. А., Епихов В. И., Гречаник А. С.
Белорусский национальный технический университет

Неотъемлемой частью проведения нивелирных работ различной точности является исследование всех или отдельных функциональных узлов нивелира. Исследование правильности хода фокусирующей линзы необходимо обязательно проводить в тех случаях, когда требование соблюдения равенства плеч при выполнении нивелирных работ либо затруднено, либо невозможно. Например, наблюдение за осадками зданий и сооружений на строительных площадках или передача отметок через водные препятствия.

Для наглядного сравнения правильности хода фокусирующей линзы зрительной трубы для исследования были выбраны нивелиры различной конфигурации: оптико-механический нивелир НВ-1 и цифровой нивелир South DL-202. Исследование проводилось согласно ГКИНП (ГНТА)-03-010-02 «Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов» на базе нивелирования, состоящем из двадцати точек, лежащих на полуокружности радиусом 40 метров таким образом, что большая часть точек сконцентрирована в одной части полуокружности.

В результате камеральной обработки проведенных измерений для оптико-механического и цифрового нивелиров были найдены средние значения величины v , которая характеризует правильность хода фокусирующей линзы в зрительной трубе нивелира. По полученным значениям ошибок v были построены полиномиальные аппроксимирующие кривые зависимости ошибки движения фокусирующей линзы от удаления точек от нивелира. Обе эти кривые схожи и имеют вид синусоиды. Знак ошибок показывает направление смещения визирной оси зрительной трубы от горизонтальной линии при фокусировке трубы на различные расстояния, а величина v показывает значение смещения визирной оси.

Проанализировав результаты исследования, можно сделать вывод, что оптико-механические нивелиры и цифровые нивелиры имеют одну и ту же конструктивную недоработку зрительных труб, которая не позволяет не брать в расчет влияние на кривизну визирной линии движения фокусирующей линзы в зрительной трубе при фокусировании на различные расстояния. Данная проблема может быть решена либо конструктивной доработкой зрительных труб производителями приборов, либо введением математического описания движения фокусирующей линзы: например, нахождением универсальной аппроксимирующей функции, описывающей ее движение.

Кривизна визирной линии нивелира и угол наклона визирной оси

Пожелаева К. А., Зенькевич К. А.

Белорусский национальный технический университет

Кривизна визирной линии (КВЛ) нивелира – общее свойство приборов для геометрического нивелирования. Вне зависимости от способа получения отсчетов по нивелирным рейкам КВЛ искажает результаты полевых измерений на неожиданно большие величины. Так, по результатам исследований [1], погрешности, связанные с КВЛ на расстояниях до 10 м, могут превышать 5 мм.

Цифровые нивелиры имеют такие же параметры КВЛ, как и оптико-механические. И погрешности измерений сохраняют свои величины.

Принцип измерения превышений цифровым нивелиром несколько отличается от нивелирования оптико-механическим прибором. Кроме отсчета по рейке измеряется расстояние, а при поверке определяется угол наклона визирной оси i [2]; по этим параметрам уточняется отсчет по рейке.

В данной ситуации открытым остается вопрос – уклон между какими точками берется в качестве i . Для корректного решения задачи необходим вполне конкретный параметр, соответствующий расстоянию до рейки – длине плеча. Но при наличии КВЛ такого параметра не существует. Для каждого расстояния свое значение i . Выход из ситуации видится в использовании какого-то конкретного i и корректирующей линейной поправки в отсчет по конкретной длине плеча.

Устранение, либо снижение величин погрешностей нивелирования, связанных с КВЛ, безусловно, внесет свой вклад в повышение точности геометрического нивелирования всех классов.

Горные машины

Об оптимальном автоматическом управлении режимными параметрами шнековых буровых установок

Нагорский А. В, Казаченко Г. В.

Белорусский национальный технический университет

Технология шнекового бурения скважин различного назначения в мягких породах и породах средней твердости широко применяется во многих отраслях промышленности. Это обусловлено прежде всего способностью транспортирования выбуренной горной массы из скважины шнековой буровой колонной с производительностью в 5-10 раз превосходящей все известные способы бурения

Одной из причин, не позволяющей реализовать отмеченную выше потенциально высокую механическую скорость бурения установок шнекового бурения, является отсутствие до настоящего времени в их системах управления средств объективного контроля и автоматического регулирования режимных параметров в случайно-изменяющихся геологических условиях бурения.

Сложность оптимального управления процессом проходки скважины заключается в необходимости строгого согласования механической скорости бурения с угловой скоростью шнекового транспортера, обеспечивающего установившийся процесс транспортирования шнеком горной массы из скважины. Неправильно выбранные оператором установки скорость подачи бурильной колонны или ее угловая скорость являются причиной или неоправданного занижения производительности буровой установки, или появления осложнений в бурении, обусловленных “заштыбкой” межвиткового пространства шнека горной массой. В итоге, не удается использовать потенциально высокие возможности существующего бурового оборудования, что обусловлено интуитивным способом “ручного” выбора названных режимных параметров.

Для реализации присущей методу шнекового бурения высокой производительности требуется разработка системы оптимального автоматического управления режимными параметрам буровой установки, способной обеспечить бурение с изменяющейся, но максимально возможной по технической характеристике ее приводов механической скоростью.

В работе определена перспектива реализации предлагаемой системы автоматического регулирования режимных параметров установок шнекового бурения, а также предложен алгоритм принципиального ее функционирования на основе ранее разработанной математической модели установившегося процесса бурения.

Варианты расположения привода скребкового конвейера

Матусович Э. В.

Холдинг «Нива», г. Солигорск

Скребковый конвейер применяется для транспортировки горных пород в самых различных условиях. Под эти условия подбирается определенная конфигурация трассы конвейера и расположение привода относительно става. Места размещения привода у разных скребковых конвейеров существенно отличаются.

При легких условиях эксплуатации, при прямолинейной трассе, когда транспортируется легкая порода, или при невысокой производительности (загруженности желоба), применяется один привод, который располагается в разгрузочной части конвейера. Перпендикулярное расположение привода используют в случае, когда габаритный размер по ширине конвейера не лимитирован, в остальных случаях применяется параллельное расположение привода, вдоль става конвейера. Несколько приводов в одном конвейере применяется в следующих случаях: при средних и тяжелых условиях работы конвейера, при сложной конфигурации трассы, для установки несколько приводов меньшей мощности, тем самым уменьшая габариты конвейера при его работе в стесненных условиях.

Таким образом, чтобы правильно подобрать схему расположения приводов и их количество, необходимо знать, в каких условиях будет применяться скребковый конвейер, какие имеются требования к габаритным размерам, какой груз он будет перемещать, производительность конвейера и его нагруженность.

**Системы маневрирования горных машин для подземной добычи
на колесных движителях**

Загоровский Ю. В.
ОАО «Белгорхимпром», г. Минск

В горных выработках работы ведутся в стесненных условиях. В силу большого количества причин движение транспортных машин происходит по сложному пути, состоящему из прямолинейных и криволинейных участков различной кривизны и ориентации. Поэтому к системам маневрирования машин на колесных движителях предъявляются высокие требования к управляемости и маневренности.

В горных машинах на колесном ходу используются системы поворота, которые можно классифицировать по принципам изменения направления движения. В этом смысле различают системы поворота за счет:

- поворота колес одной или нескольких осей;
- поворота одной или нескольких осей, а также поворота полурам;
- разности скоростей вращения колес противоположных бортов.

В настоящее время наиболее широко применяемыми системами поворота горных машин на колесных движителях являются системы с управляемыми колесами и с шарнирно-сочлененной рамой. Изучению процессов маневрирования таких машин посвящено большое количество научных исследований и разработано большое количество методов оценки их эффективности. Интеес представляет система поворота за счет разных скоростей колес различных бортов машины. Эта система поворота имеет применение в колесных технологических машинах. Для колесных машин, работающих в подземных условиях, она практически не использовалась. Вместе с тем ее использование дает положительный эффект для увеличения объемов кузова транспортных машин и повышения их производительности.

Исследование некоторых вопросов статической устойчивости отвалообразователей на шагающем движителе

Неверовская Я. Б.
ОАО «Белгорхимпром», г. Минск

В нашей работе отражены особенности отвалообразователей и представлены их математические модели в неподвижном относительно поверхности состоянии. Показано, как используются эти модели при расчетах статической устойчивости.

При составлении уравнений движения рассматриваем отвалообразователь как динамическую систему. За основную часть системы выберем базу, а движение остальных частей рассматриваем относительно нее. Конфигурация базы определяется тремя координатами центра масс и тремя углами Эйлера, определяющими ее сферические движения. Используя методику проф. А.И. Лурье, получили таблицу направляющих косинусов, что позволило определять декартовы координаты любой точки базы. Рассмотрели равновесное положение отвалообразователя. Была исследована на статическую устойчивость база кольцевой формы.

Рассмотренные в работе вопросы позволяют разрабатывать достаточно подробные модели отвалообразователей и совершенствовать их конструкции. В частности, исследована на статическую устойчивость база кольцевой формы, которая в этом смысле превосходит традиционную базу в форме круга. Помимо базы кольцевой формы возможны и другие способы повышения статической устойчивости шагающих отвалообразователей. В настоящее время эти способы находятся в стадии обоснования и исследований на основе разработки их математических моделей.

Сырьевая смесь для получения пористых строительных материалов

Березовский Н. И., Костюкевич Е. К.

Белорусский национальный технический университет

Основная технологическая операция при производстве аглопорита – это спекание шихты на решетке агломерационной машины непрерывного действия, где теплота сгорания топлива должна быть выше 4000 ккал/кг. Опыт показывает, что протекающие процессы теплопереноса не заканчиваются в зонах сушки и нагрева, а накладываются друг на друга по всей длине ленты и развиваются параллельно [1].

В результате исследований, определен состав сырьевой смеси для получения аглопорита, включающий глинистое сырье 78-88 % по массе, уголь 4-6 % по массе, в качестве топливной добавки - торф фрезерный 4-6 % по массе, а в качестве связующей добавки - отход перлитового производства 4-10 % по массе [2].

Апробация данной сырьевой смеси на ОАО «Минский завод строительных материалов», показала, что снижение содержания угля в составе шихт ниже 4 % нецелесообразно, так как приводит к ухудшению свойств аглопорита ввиду недожога.

Применение предлагаемых составов шихт для производства аглопорита по сравнению с существующими аналогами, позволяет повысить коэффициент конструктивного качества в пределах от 0,17 до 0,40, увеличить прочность, пористость аглопорита, ускорить процесс горения топлива и спекания, повысить экологическую чистоту сгорания (малая доля серы), снизить использование топлива на 2 % и себестоимость производства аглопорита.

Выбор параметров горизонтального пневмотранспорта измельченного торфа по выбранному диаметру трубопровода

Петренко С. М.

Белорусский национальный технический университет

Значения критической скорости $\mathcal{G}_{кр}$ несущей воздушной фазы при горизонтальном пневмотранспорте измельченного торфа согласно [1]

$$\mathcal{G}_{кр} = 45\sqrt[3]{D} + 0,38\mu, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где D – внутренний диаметр трубопровода в метрах; $\mu = G_e/G_m$ – расходная массовая концентрация частиц в аэросмеси, кг материала/кг воздуха; G_e и G_m – производительности соответственно по воздуху и измельченному торфу, кг/с.

Транспортная скорость воздушной фазы, при которой обеспечивается устойчивое взвешенное транспортирование торфяных частиц в горизонтальных трубопроводах

$$\mathcal{G} = k_z \mathcal{G}_{кр} = k_z (45\sqrt[3]{D} + 0,38\mu), \quad (2)$$

где $k_z = 1,05 \dots 1,1$ – коэф фициент запаса по скорости.

В соответствии с (2) транспортная скорость \mathcal{G} определяется принятым внутренним диаметром трубопровода D и реализуемой массовой концентрацией μ . С другой стороны, при заданной производительности G_m по измельченному торфу транспортная скорость

$$\mathcal{G} = 4G_m / (\pi D^2 \mu \rho_e), \quad (3)$$

где ρ_e – плотность воздуха.

Таким образом, для каждого выбранного значения D существует определенное соотношение значений транспортной скорости воздуха \mathcal{G} и расходной массовой концентрации μ , при котором реализуется горизонтальный пневмотранспорт измельченного торфа с выполнением условия $\mathcal{G} > \mathcal{G}_{кр}$. Эти значения \mathcal{G} и μ определяются из совместного решения уравнений (2) и (3) и являются наиболее рациональными с точки зрения устойчивости режима горизонтального пневмотранспорта и затрат энергии на перемещение измельченного торфа.

УДК 621.867.8:622.331

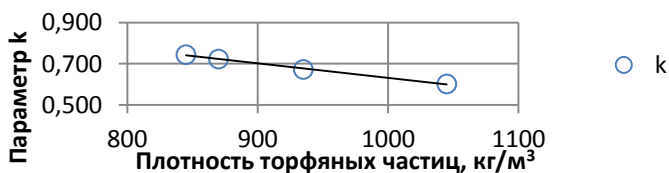
**Зависимость между действительными режимными параметрами
вертикального пневмотранспорта измельченного торфа
и плотностью частиц**

Петренко С. М.

Белорусский национальный технический университет

Действительные режимные параметры вертикального пневмотранспорта измельченного торфа определены по методике [1] обработкой экспериментальных зависимостей перепада давления на участке вертикального пневмотранспортного трубопровода от приведенной скорости воздуха при различных массовых производительностях. Анализ полученных данных показал, что при вертикальном пневмотранспорте измельченного торфа для каждого отдельно взятого образца параметр $k = c \vartheta_m / G_m$, где c – истинная объемная концентрация частиц в аэромеси, ϑ_m – действительная (с учетом стеснения поперечного сечения трубопровода транспортируемым торфом) скорость частиц материала и G_m – массовая производительность, остается постоянным для широкого диапазона изменения G_m . Существует корреляционная связь между параметром k и плотностью торфяных частиц ρ_m , определенной по среднему диаметру образца торфа.

Характер зависимости $k = f(\rho_m)$ представлен на рисунке.



Аппроксимирующая зависимость имеет вид $k = -0,0007\rho_m + 1,3388$, величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9966$.

УДК 622.331

Влияние ультразвука на гранулометрический состав частиц пыли горных пород

Березовский Н. И., Борисейко В. В.

Белорусский национальный технический университет

В горной промышленности в результате переработки различных видов сырья путем механического и термического воздействия на них образуются отходящие промышленные газы, в которых содержатся взвешенные частицы пыли.

Дисперсный состав является одной из важнейших характеристик тонкоизмельченных материалов, определяющих их физико-химические свойства. Чем больше взвешенные частицы пыли, тем степень их очистки существующими аппаратами газоочистки выше.

Определение дисперсного состава двух образцов, отобранных из сухого циклона действующего торфобрикетного завода после воздействия ультразвуковым генератором на один из них, подтвердил гипотезу об изменении размеров частиц под влиянием ультразвука. Сравнив образцы, можно сделать вывод, что частиц максимального размера в диапазоне 122÷250 мкм увеличилось с 3,18 до 9,01 процента, т. е. в 2,83 раза. Частиц минимального размера, наиболее сложно улавливаемых, респираторных фракций уменьшилось в диапазоне 0,200-0,408 мкм в 5 раз в диапазоне 0,408-0,833 мкм – в 2,3 раза; в диапазоне 0,833-1,699 мкм – в 1,8 раза; в диапазоне 1,699-3,466 мкм - в 1,37 раза; в диапазоне 3,466-7,071 мкм – в 1,26 раза; в диапазоне 7,071-14,427 мкм – в 1,22 раза; в диапазоне 14,427-29,56 мкм – в 1,2 раза; в диапазоне 29,435-60,056 мкм – в 1,1 раза. В целом процентное содержание респираторных фракций из 67,6 % уменьшилось до 59,79 %, т. е. на 7,81 %.

К вопросу долговечности элементов машин

Тарасов Ю. И.

Белорусский национальный технический университет

Кроме изнашивания существенное влияние на долговечность машин оказывает коррозия и старение материала.

Коррозия является одной из основных причин поверхностного разрушения элементов конструкции машины. Около 30% изделий, изготовленных из черных и цветных металлов в течение года становятся непригодными к эксплуатации из-за коррозионного разрушения.

Для защиты металлических поверхностей от коррозии различных видов применяются металлические, химические, электро-химические, полимерные, лакокрасочные покрытия и химико-термическая обработка.

Группа методов напыления в вакууме включает газорассеивающее нанесение покрытий, резистивное напыление, ионное осаждение, активированное реактивное ионное осаждение и активированное реактивное напыление.

Реализация метода магнетронного распыления осуществлялась на установке, в вакуумной камере которой установлен круглый магнетрон. Он состоит из анодного узла, экрана, который окружает катодный узел, с размещенной внутри магнитной системой, состоящей из магнитопровода с установленными на нем магнитами из сплава самарий-кобальт.

Рабочая камера установки откачивалась до остаточного давления $(2,6 \div 4,4) \cdot 10^{-3}$ Па. В качестве рабочего газа использовался аргон, который подавался в камеру до давления $(5,2 \div 7,8) \cdot 10^{-1}$ Па, которое поддерживалось постоянным за счет использования блока управления натекателем газа собственной конструкции.

После завершения процесса вакуумная камера разгерметизировалась, образцы выгружались и исследовались.

Результаты показали, что магнетронное распыление дает качественные характеристики покрытий, успешно препятствующие коррозии металлов.

Возможности представления результатов измерений вибраций

Тарасов Ю. И.

Белорусский национальный технический университет

Диагностирование зубчатых пар является достаточно сложным, трудоемким, обычно весьма длительным по времени процессом. Диагностическо-математический аппарат для оценки состояния и поиска причин повышения вибраций зубчатых пар также сложный и включает в себя весь арсенал спектральных методов анализа вибросигнала.

Замеры выполнялись при проведении учебных занятий на специальной лабораторной установке, моделирующей зубчатую пару, с помощью вибротестера разработки БГУИР. Критерий оценки был построен среднеквадратичного значения виброскорости, характеризующей вибрацию, в определенном диапазоне частот. Данный параметр наиболее часто используют для количественного описания вибрации в заданном интервале времени.

Применение других параметров может вызвать трудности, если сигнал вибрации содержит множественные частотные составляющие или модуляционные компоненты. Среднеквадратичное значение может быть получено для любого сигнала, и большинство средств измеренной вибрации обеспечивают его непосредственное измерение.

Отфильтрованный сигнал может быть подан на показывающее устройство, откалиброванные для отсчитывания среднеквадратичных значений, если эти показания не изменяются значительно в некотором интервале времени.

Результаты показали, что по форме временного сигнала можно (но достаточно сложно) выявить такие крупные дефекты как трещины в одном или нескольких зубьях. Достаточно хорошо диагностируются отсутствие зуба.

Все остальные более мелкие дефекты состояния зубчатых пар по временному вибросигналу диагностируются трудно.

Басалай Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы – оценка эксплуатационных показателей проходческих комбайнов Урал-10А и ПКС-8М по результатам работы комбайновых бригад Второго рудоуправления ОАО «ПО «Беларуськалий» и сравнение с расчетными теоретическими показателями. Основой для первичной информации явились книга нарядов на одном из технических участков Второго рудоуправления, а также сводная таблица с показателями работы комбайновых бригад за один год. В результате установлен следующий характер работы комбайнов с учетом различных видов работ. За основные показатели взяты: среднегодовой показатель; норма проходки очистных ходов; среднесуточный показатель выработки, план и факт; норма проходки; суточная выработка, план и факт.

Фактическая производительность даже в передовых бригадах в 2,5 раза ниже, а средние показатели ниже почти в четыре раза по сравнению с техническими возможностями машин. Причинами 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.

Эти резервы производительности могут быть реализованы за счет:

- перехода на большегрузные самоходные вагоны;
- разделения процессов отбойки и транспортировки руды и повышения ритмичности при применении технологии с магазинированием руды и челноковых схем выемки для рудников с устойчивыми вмещающими породами;
- предварительной зарубки камер при подготовке панелей;
- устройства участков аккумулярующих бункеров;
- правильного выбора типа комбайна с целью соответствия его размеров размерам камер и мощности пласта для исключения работы с большой величиной наложения ходов как при расширении, так и при подрубке камер.

Примечание: При определении массовой производительности комбайнов относительно длины проходки учитываются действительная площадь сечения выработки, а также плотность ненарушенной породы $2,2 \div 2,5 \text{ т/м}^3$.

Басалай Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Посменная динамика проходки (п.м/смену) комбайна ПКС-8М, а также посуточная выработка (т/сутки) «Урал-10А» показаны на диаграммах (рис. 1 и 2). Результаты анализа сведены в таблицу.



Рис. 1. Посменная проходка комбайна ПКС-8М

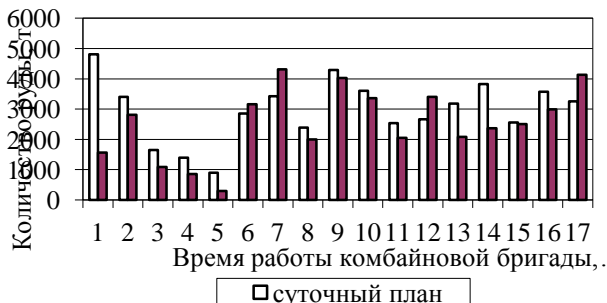


Рис. 2. Посуточная выработка проходческо-очистного комбайна «Урал-10А»

Таблица

Эксплуатационные показатели работы комбайновых бригад

№ п/п	Наименование показателя	Ед.изм.	ПКС-8М	Урал-10А
1.	Среднесуточный план	т	1190	2960
2.	Среднесуточный факт	т	820	2532
3.	Норма проходки подготовит. выработок	тыс.т	1210	4172
4.	Норма проходки очистных проходов	тыс.т	1570	5415
5.	Среднегодовая выработка	тыс.т	966	3476

Анализ работы карьерных самосвалов на РУПП «Гранит»

Илючик П. М.

Белорусский национальный технический университет

На РУПП «Гранит» взорванная горная масса размером до 1300 мм из карьера в приемные бункеры технологических линий дробильно-сортировочного завода (ДСЗ) доставляется автотранспортом. Для этой цели используются карьерные самосвалы серии БелАЗ» грузоподъемностью от 50 до 90 тонн. В автотранспортном цехе предприятия на вывозке горной массы постоянно задействовано около 4 машин грузоподъемностью 90 т. и 40 самосвалов – 50-60 т. Работа машин происходит по технологическим дорогам средней протяженностью 3-5 км, проложенным от мест погрузки в карьере до разгрузки на ДСЗ по серпантину уступов с перепадом по высоте свыше 150 м. При годовой мощности предприятия по производству 16 млн. тонн щебня плановый объем перевозимой горной массы, например, одним самосвалом грузоподъемностью 60 т. составляет около 1,0 млн тонн при общем пробеге 10 тыс. км в год.

Анализ работы карьерных самосвалов на РУПП «Гранит» показывает, что в целом автосамосвалы серии «БелАЗ» обладают высокой надежностью и длительным ресурсом. Эксплуатация машин обеспечивается опытными водителями с соблюдением плановых мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту. Основными группами факторов, влияющих на возникновение отказов машин, являются технологические, общетехнические, межсезонные и организационные. Машины грузоподъемностью до 90 тонн выполнены по схеме гидромеханической трансмиссии, которая включает в себя гидротрансформатор, коробку переменных передач (КПП), карданный телескопический вал и задний ведущий мост. Анализ надежности трансмиссии машин показывает, что имеют место отказы элементов КПП, в частности, износ и коробление дисков фрикционных муфт на валу диапазонов.

Устранение отказов производится водителями и инженерно-техническим персоналом в современных автомастерских предприятия. Замена вышедших из строя оригинальных деталей и механизмов происходит путем закупки новых на отечественных заводах-изготовителях.

С целью повышения надежности трансмиссии машин авторами работы разработано несколько вариантов технических предложений по возможной модернизации элементов КПП.

Работа выполнена под руководством ст. пр. Г. А. Басалая.

Содержание

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	82
Экономика и организация энергетики	119
Энергетическое строительство	131
Энергоэффективные технологии	176
Информационные системы и технологии	194
Информационные технологии и автоматизация	222
Металлургия черных и цветных сплавов	269
Машины и технология литейного производства	291
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов	303
Обработка материалов давлением	329
Материаловедение в машиностроении	342
Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент	363
Экономика и организация машиностроительного производства	374
Разработка месторождений полезных ископаемых	402
Инновационные технологии в геодезии и картографии	432
Горные машины	460

Научное издание

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

Материалы 16-й Международной
научно-технической конференции
(71-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных работников, докторантов
и аспирантов БНТУ)

В 4 томах

Том 1

Ответственный за выпуск *В. В. Ляшенко*

Подписано в печать 06.11.2018. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 27,61. Уч.-изд. л. 21,59. Тираж 40. Заказ 926.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

