

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**Белорусский национальный технический университет**

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

**Материалы 15-й Международной  
научно-технической конференции  
(70-й научно-технической конференции  
профессорско-преподавательского состава,  
научных работников, докторантов  
и аспирантов БНТУ)**

**В 4 томах**

**Том 1**

**Минск**  
**БНТУ**  
**2017**

УДК 001:[37+658+338](063)

ББК 72я431

Н34

Редакционная коллегия:

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

Ф. А. Романюк – чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор;

А. С. Калиниченко – д-р техн. наук

В сборнике представлены материалы 15-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (70-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), тематика которых посвящена актуальным проблемам современной науки.

**ISBN 978-985-583-111-3 (Т. 1)**

**ISBN 978-985-583-112-0**

© Белорусский национальный  
технический университет, 2017

**Технические и прикладные науки**

**Электроэнергетика**

Матвеенко И.П.

Белорусский национальный технический университет

При разработке электронных схем необходимо проверить их работоспособность и правильность выполнения заданных функций. Решить такую задачу с наименьшими затратами возможно, используя методы математического моделирования и исследования электронных устройств на компьютере, например, на основе использования программы Proteus.

В данной работе была смоделирована схема датчика влажности и проверена её работоспособность. А также смоделирована схема подключения к входам микроконтроллера AT89C51 фирмы ATMEL датчика влажности, а к выходу исполнительного устройства (например, двигателя насоса) через твердотельное реле, которое позволяет эффективно коммутировать силовые цепи, находящиеся под управлением контрольного сигнала слабого тока (сигнал с выхода микроконтроллера) (рисунок). Проверка работы собранной схемы осуществлялась в соответствии с разработанной программой, написанной на языке программирования Си.

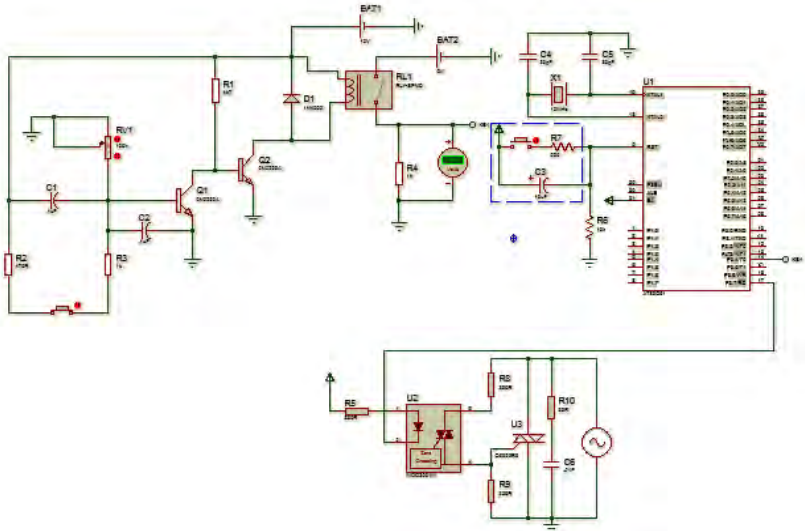


Схема управления поливом

**Авиационный генератор  
с двойным асинхронным преобразованием частоты**

Полюянов М.И., Бабук Е.В., Додь В.И.  
Белорусская государственная академия авиации

Предложена конструкция трехфазного генератора постоянной частоты 400 Гц без привода постоянной частоты вращения на базе двух сочлененных асинхронных преобразователей частоты [1]. Первый преобразователь (возбудитель) получает от инвертора трехфазное напряжение постоянной частоты 400 Гц, а в его роторной обмотке индуцируется промежуточная частота, равная разности частоты инвертора и частоты вращения ротора. Выходное напряжение возбудителя подается на роторную обмотку (индуктор) второго преобразователя (генератора), где промежуточная частота складывается с частотой вращения ротора, индуцируя в статорной обмотке генератора постоянную частоту 400 Гц, задаваемую инвертором.

Так как роторные обмотки возбудителя и генератора не имеют внешних выводов для подачи постоянного тока при синхронной частоте вращения ротора, то число пар полюсов возбудителя и генератора должно быть таким, чтобы частота вращения ротора при всех колебаниях частоты вращения авиадвигателя была либо меньше, либо больше синхронной.

При частотах вращения выходного вала редуктора в точке отбора от авиадвигателя механической мощности от  $7200 \text{ мин}^{-1}$  (малый газ на земле) до  $11\,600 \text{ мин}^{-1}$  (номинальный режим) этому условию удовлетворяют числа пар полюсов  $p=1$  (синхронная частота  $24000 \text{ мин}^{-1}$ ) и  $p=5$  и больше (синхронная частота  $4800 \text{ мин}^{-1}$  и меньше). С учетом того, что при  $p=1$  промежуточные частоты не будут превышать 400 Гц и будут значительно меньше, чем при  $p=5$  и больше, предпочтительнее вариант с одной парой полюсов. Кроме того, такая конструкция позволяет расширить рабочий диапазон частот вращения ротора генератора как в меньшую, так и в большую сторону.

**Литература**

Патент Республики Беларусь на полезную модель №10574. Бесконтактный генератор переменного тока. Н02К19/00, 2015.

## **Автономные инверторы**

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Преобразование параметров электрической энергии на современном этапе технического развития занимает одно из важнейших мест, так как интенсивное развитие средств автоматики, телемеханики, электроизмерительной и вычислительной техники порождает многообразие различных требований, предъявляемых к источникам их питания.

Разнообразие требований к параметрам и качеству электрической энергии, значительный рост количества и единичной мощности преобразователей привели к возникновению автономной электроэнергетики – области энергетики, основная задача которой состоит в создании высоконадёжных и технически совершенных преобразователей параметров электрической энергии.

Толчком к существенному расширению работ и практическому применению преобразователей послужило применение в качестве силовых ключей транзисторов и тиристоров.

Одной из актуальных практических задач является разработка автономных инверторов со стабилизированными выходными параметрами – частотой и напряжением. Автономные инверторы преобразуют электрическую энергию постоянного тока, поступающую, 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.

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.

## **Инверторы для работы в диапазоне низких частот**

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Инверторы служат для преобразования электрической энергии постоянного тока в электрическую энергию переменного тока. Принцип работы инвертора основан на усилении эталонного синусоидального напряжения маломощного задающего генератора (ЗГ).

В основе работы инвертора лежит принцип прерывания постоянного тока в первичной обмотке трансформатора. Наведённое во вторичной обмотке напряжение имеет форму, близкую к синусоидальной. Схема обеспечивает совпадение (в пределах погрешности, обусловленной чувствительностью сравнивающего органа, инерционностью схемы и т. д.) выходного напряжения и напряжения задающего генератора по амплитудному значению и частоте.

Основными требованиями, предъявляемыми к инверторам, являются: обеспечение синусоидальной формы выходного напряжения, его стабилизации и высокие технико-экономические показатели.

Из всего многообразия методов улучшения технико-экономических показателей инвертора наиболее приемлемым и перспективным можно считать метод амплитудно-импульсной модуляции, так как он позволяет достичь хорошего гармонического состава выходного напряжения уже при нескольких прямоугольных импульсах в полупериоде.

Если для согласования напряжения питания и нагрузки необходимо применение силового трансформатора, то наименьшими весо-габаритными показателями будет обладать схема с переключением вторичных обмоток трансформатора тиристорными ключами, поскольку в этом случае повышается рабочая частота трансформатора. Нарастивая вторичные обмотки с ключами, можно получить напряжение с любым числом ступеней и обеспечить тем самым заданный уровень коэффициента гармоник. Такой метод формирования выходного напряжения наиболее эффективен для получения напряжения улучшенной формы в диапазоне низких частот. При этом стабилизация выходного напряжения довольно просто решается непосредственно в самом инверторе путём регулирования ширины выходного напряжения, что также способствует снижению веса и габаритов инвертора. Из гармонического анализа напряжения с амплитудно-импульсной модуляцией известно, что лучшим по подавлению гармоник, близких к основной, является импульсное напряжение, модулированное по синусоидальному закону, с чётным числом импульсов в полупериоде.

**Устройство для контроля твердости ферромагнитных изделий с экономичным блоком размагничивания**

Михальцевич Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Большинство известных приборов неразрушающего контроля (ПНК) для определения механических свойств ферромагнитных изделий (ФИ) содержат блок намагничивания изделия (БН) в одном или в разных направлениях, блок размагничивания (БР), участвующий в одном или нескольких этапах размагничивания, блок измерения остаточной намагниченности (ОН), по величине которой определяют качество термообработки ФИ. В конце электромагнитного контроля на ФИ остается магнитный след ОН, который необходимо убрать, путем размагничивания изделия. При этом, чаще всего, ФИ размагничивается при таком же режиме как перед электромагнитным контролем, мощностью необходимой для размагничивания самого высококоэрцитивного ФИ. При этом затрачивается не всегда оправданная энергия для размагничивания. В предлагаемом устройстве БР работает в более экономичном режиме, чем во многих других, за счет корректировки затрат энергии, необходимой для размагничивания при разбраковке различных ФИ, имеющих однозначную зависимость между остаточным полем и твердостью. Устройство содержит преобразователь, состоящий из двух П-образных электромагнитов и феррозонда-полимера, подключенного к возбуждающей обмоткой к генератору возбуждающих колебаний, а измерительной к последовательной цепи, состоящей из 1-го коммутатора, селективного усилителя, детектора, фильтра, аналого-цифрового преобразователя, а также блок памяти (БП), регулируемый БН, регулируемый БР, блок сортировки (БС), 2-й коммутатор и блок автоматики (БА). Устройство работает следующим образом. Кнопкой или от внешнего сигнала запускается БА, который выдает серию управляющих сигналов (УС) со своих выходов. Первым УС БА включает БР, подключенный через 2-ой коммутатор к двум обмоткам электромагнита (ОЭ), и вырабатывающий размагничивающий ток с первой амплитудой достаточной для размагничивания конкретного изделия с максимальной коэрцитивной силой. Вторым и третьим УС БА, согласно заложенной в БА программе, включает, через 2-й коммутатор, БН. При этом происходит намагничивание контролируемого участка изделия двумя электромагнитами поочередно. Четвертым УС БА, поступающим на вход 1-го коммутатора, включается работа узлов измерения и запоминания величины ОН контролируемого участка. Затем пятым УС с БА включается БР с максимальной амплитудой тока в ОЭ пропорциональной измеренной коэрцитивной силе изделия. Шестым СУ БА сигнал с БП поступает на цифровой индикатор, а также на БС, разделяющий изделия на «мягкие», «годные» и «твердые».



## Некоторые способы получения стабильной амплитуды выходного напряжения в генераторах гармонических колебаний

Михальцевич Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Генераторы гармонических колебаний (ГГК) получили широкое применение, как самостоятельные устройства, так и устройства, служащие для обеспечения нормальной работы некоторых узлов, входящих в них. Например, для питания возбуждающей обмотки феррозонда, стирающей головки магнитофона, в приемной и передающей аппаратуре.

Синусоидальный сигнал можно получить на выходе мультивибратора, на транзисторах и (или) микросхемах нагрузкой которого является колебательный контур или трансформатор со средней точкой в первичной и (или) вторичной обмотке, с конденсатором во вторичной обмотке или  $RC$ -цепями в первичной обмотке, позволяющими уменьшить искажения на генерируемой частоте. Стабильность амплитуды выходного напряжения (САВН) в этих устройствах зависит в первую очередь от наличия обратной связи, позволяющей автоматически изменять напряжения питания генератора или длительность импульсов, поступающих на входы силовых транзисторов, в зависимости от изменения выходного напряжения. Хорошим ГГК с малым уровнем искажений может быть генератор, выполненный на операционном усилителе (ОУ) с мостом Вина. Мост Вина создает сдвиг фазы на  $180^\circ$  на нужной частоте, петлевое усиление регулируется таким образом, чтобы возникли автоколебания. При одинаковых значениях  $R$  и  $C$ , входящих в мост Вина, коэффициент усиления по напряжению выходного сигнала по отношению к сигналу на неинветирующем входе ОУ должен быть равен  $+3$ . При меньшем усилении колебания затухают, при большем – выходной сигнал достигает уровня насыщения ОУ. Для получения гармонических колебаний с малыми искажениями можно применить инерционно-нелинейную цепь отрицательной обратной связи (ООС) ОУ. Нужный характер нелинейности обеспечивается тогда, когда с ростом амплитуды сигнала уменьшается усиление ОУ. Для обеспечения высокой САВН в генераторе цепь регулировки глубины ООС можно выполнить на основе сравнения амплитуды генерируемого напряжения с опорным постоянным напряжением. Для этого вначале выпрямляют переменное напряжение с выхода генератора, затем из него вычитают опорное напряжение, а разность усиливают и используют для управления одним из управляемых сопротивлений, входящих в ветвь ООС генератора. В качестве управляемых сопротивлений могут применяться полевые транзисторы, фоторезисторы, транзисторы и фоторезисторы, входящие в оптроны.

**Анализ применимости существующих методов  
контроля обмоток**

Зеленко В.В., Сизиков С.В., Полоневич П.В.  
Белорусский национальный технический университет

В работе проведен анализ существующих методов контроля витковой изоляции обмоток электрических двигателей. Наиболее общими признаками для всех методов являются: спектральный состав входного сигнала; вход сигнала в обмотку.

Спектральный состав входного сигнала определяет форму входного сигнала, соответствующий источник сигнала, процессы, лежащие в основе метода и технологию обработки выходного сигнала. Для контроля обмоток применяются три группы входных сигналов: синусоидальные, периодические импульсные и одиночные. При этом первая группа делится на три подгруппы: частотой 50 Гц; частотой более 50 Гц и с частотой изменяющейся в процессе измерения.

По способу подачи сигнала все методы подразделяются на два класса: контактные и бесконтактные.

В контактных методах осуществляется электрический контакт выводов обмотки с источником и измерителем, обрабатывающим выходной сигнал, или с одним из них. Эти методы могут быть разделены на три группы: первая – сигнал подается непосредственно в обмотку и снимается с нее; вторая – сигнал подается в обмотку электрическим путем, а снимается с помощью датчика, посредством магнитной связи; третья – сигнал снимается с выводов обмотки, а подается с помощью индуктора, магнитосвязанного с обмоткой. Методы первой группы более технологичны. С помощью методов второй группы обнаруживают места дефекта, а методы третьей группы позволяют локально испытывать отдельные элементы обмоток.

Каждая из групп подразделяется на подгруппы по виду соединения между собой обмоток и месту подачи сигналов. Сигнал может подаваться на одну, две, три обмотки или между выводом обмотки и корпусом.

В бесконтактных методах нет электрического контакта контролируемой обмотки с источником сигнала и измерителем. Сигнал подается и снимается посредством магнитной связи индуктора и датчика с обмоткой. Бесконтактные методы делятся на две группы: с отдельными датчиками для наведения ЭДС и снятия сигнала; с совмещенными датчиками.

Описанные принципы систематизированы и сведены в классификационную таблицу, где приводится итог литературного обзора. Контактные методы сводятся к девяти схемам подачи сигнала, бесконтактные к двум.

**Влияние формы испытательного сигнала на эффективность  
контроля витковой изоляции**

Зеленко В.В., Полоневиц П.В.

Белорусский национальный технический университет

Для контроля обмоток применяются три группы входных сигналов: синусоидальные, периодические импульсные и одиночные.

Если в качестве входного сигнала используется синусоидальный сигнал частотой 50 Гц, то особенностью метода является простота и дешевизна за счет использования источника сигнала промышленной сети и определения наличия виткового замыкания по увеличенному значению тока. Однако реальный разброс параметров обмотки, вызывает большие отклонения токов чем от одного виткового замыкания, поэтому метод обладает низкой чувствительностью.

Синусоидальный сигнал повышенной частоты или частоты, которая устанавливается в процессе измерения, позволяет использовать резонансные свойства обмотки и получить наибольшую чувствительность к витковым замыканиям. Применение гармонического сигнала не всегда позволяет создать необходимые испытательные напряжения, их создают с помощью одиночных или периодических импульсных сигналов.

При контроле обмоток одиночным сигналом используются волновые свойства обмоток. Состояние обмотки в большинстве случаев определяется визуально путем сравнения формы выходного сигнала с образцовой осциллограммой. Сравнение с образцовой осциллограммой вносит дополнительные погрешности. Существуют методы, основанные на поочередной подаче сигнала на оба вывода обмотки и сравнении форм снимаемых сигналов. Этот метод не требует образцовых осциллограмм, однако не применим если комплексные сопротивления обмотки относительно обоих выводов разные. Такие сигналы получили наибольшее применение среди методов контроля из-за относительной простоты реализации. Периодические импульсные сигналы имеют различную форму: прямоугольную, экспоненциальную, синусоидальную – радиоимпульсы, форму затухающих колебаний, трапециoidalную и т.д. Импульсные методы основаны на спектральном анализе выходного сигнала и выделении составляющих чувствительных к витковым замыканиям. Форма импульсов выбирается для создания максимальных испытательных напряжений. Такие методы являются наиболее эффективными, так как позволяют сочетать высокую чувствительность к витковым замыканиям с возможностью создавать необходимые межвитковые напряжения.

## **Компьютерное моделирование схем управления электродвигателями**

Матвеевко И.П.

Белорусский национальный технический университет

В различных роботизированных устройствах используются электродвигатели (постоянного тока, переменного тока, шаговые и др.). Системы автоматизированного управления электродвигателями, как правило, включают электронные схемы с использованием микроконтроллеров различных типов. Однако отладка работы реальных контроллеров оказывается затратной задачей, так как необходимо написать программу, с помощью программатора «прошить» процессор, подключить к выходу контроллера электродвигатели и только тогда наглядно увидеть результат своей работы. Решить такую задачу проще стало возможным благодаря компьютерному моделированию.

Кроме того, микроконтроллеры AVR могут работать совместно с универсальным электронным конструктором Arduino. Плата Arduino позволяет запрограммировать микроконтроллер без использования программатора - с помощью специальной программы, которая запускается сразу после подключения. Написанный код можно загрузить в микроконтроллер посредством USB-шнура.

В данной работе приводится проект схемы для управления двумя двигателями постоянного тока с возможностью регулирования скорости и направления вращения электродвигателей. Для создания проекта в Proteus необходимо собрать виртуальную электронную схему, выбрав необходимые элементы, и разместить их на выделенном пространстве. В работе используется микроконтроллер AVR фирмы ATMEL типа ATMEGA 328P, к выходным портам которого подключается микросхема L298, которая представляет собой двоянный мостовой драйвер двигателей и предназначена для управления DC и шаговыми двигателями.

Данная микросхема находит очень широкое применение в робототехнике. Одна микросхема L298 способна управлять двумя двигателями и обеспечивает максимальную нагрузку до 2А на каждый двигатель. Двигатели постоянного тока подключаются уже к выходам микросхемы L298 вместе со светодиодами, которые подают световой сигнал при достижении максимальной скорости вращения. Контроллер управляет работой электродвигателя постоянного тока, используя широтно-импульсную модуляцию (ШИМ).

**Определение параметров первичного источника электрической энергии, питающего нагрузку с несинусоидальным токопотреблением**

Чумаков С.А., Каледа А.Е., Кравцов И.А.  
Военная академия Республики Беларусь

В состав автономного объекта (АО) входит оборудование, которое условно можно разделить на следующие группы: функциональное оборудование, обеспечивающее решение информационных задач боевой работы АО; система освещения, система кондиционирования и вентиляции; приводное оборудование.

Анализ показывает, что при сравнимых значениях мощностей системы автономного электроснабжения (САЭС) переменного тока и импульсной (нелинейной) нагрузки (ИН) неизбежно искажается форма кривой напряжения.

Технические характеристики САЭС и ИН, заявленные в эксплуатационной документации, в большинстве случаев не позволяют с достаточной достоверностью определить допустимое значение мощности нелинейной нагрузки, при котором коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения в силовой сети не превышает требований ГОСТ 13109-97 – не более 8 % длительно и 12 % кратковременно. Разработчики АО вынуждены определять эффективность совместного функционирования конкретных САЭС и ИН АО экспериментальным путем, после их выбора и закупки, что приводит к дополнительным финансовым затратам и увеличению сроков разработки, а также к риску отказа в процессе испытаний как САЭС, так и от подключаемого к ним оборудования. При этом следует учесть, что стоимость оборудования в большинстве случаев превышает стоимость САЭС в несколько раз.

Ведущие производители первичных источников (ПИ) электрической энергии и проектировщики САЭС предлагают обеспечивать качество электроэнергии путем увеличения мощности ПИ по отношению к мощности ИН. В частности, по рекомендациям специалистов компании SDMO мощность ПИ для совместной работы с ИН должна составлять не менее 200 % мощности нагрузки с 6-импульсным выпрямителем и не менее 150 % мощности нагрузки с 12-импульсным выпрямителем на входе. Предлагается методика аналитического определения параметров ПИ САЭС, которая позволит для модернизируемых и вновь создаваемых АО определять мощность ПИ САЭС без проведения экспериментального проверки эффективности их совместного функционирования.

**Обеспечение качества электрической энергии в системах электроснабжения автономных объектов**

Чумаков С.А., Кравцов И.А.  
Военная академия Республики Беларусь

Традиционно при разработке и модернизации вооружения больше внимание уделяется совершенствованию информационных процессов и огневых возможностей техники, тогда как энергетические процессы, протекающие в образцах вооружения, практически не исследованы.

Система электроснабжения (СЭС) является неотъемлемой частью автономного объекта (АО), без которой его функционирование невозможно. Задача СЭС как функциональной системы образца вооружения, состоит в бесперебойном обеспечении потребителей электрической энергией требуемыми номиналами и качеством во всех режимах работы. На сегодняшний день существуют технические возможности разработки систем коррекции качества питающего напряжения на основе активных фильтров (АФ). Система коррекции качества питающего напряжения должна подключаться параллельно системе «СЭС–АО» и включать: измерительную систему, решающую задачу вычисления пассивной составляющей мгновенного тока, систему управления, осуществляющую преобразование полученного тока в сигнал задания тока активного фильтра, систему управления силовой частью, которая преобразует сигнал задания тока активного фильтра в закон переключения вентилей силовой части, силовую часть, которая формирует ток компенсации  $i_k(t)$ .

Известно несколько основных способов управления АФ, разработанных в разное время. Все они могут быть представлены как ряд простых действий, выполняемых теми или иными узлами системы управления, и могут быть в конечном итоге сведены к следующему: 1) вычисление пассивной составляющей мгновенного тока / напряжения сети; 2) преобразование полученного тока задания АФ в закон переключения силовых вентилей АФ. Вычисление пассивной составляющей мгновенного тока предлагается проводить по выражениям для амплитуд и начальных фаз гармонических составляющих тока, полученных на основе анализа временных параметров кривой тока.

Преимуществом данного метода является высокое быстродействие, основанное на одновременном вычислении амплитуд  $I_n$  и начальных фаз  $\psi_n$  спектральных составляющих за  $1/2$  периода повторения тока и отказ от использования полосовых фильтров.

## **Структурно-параметрический синтез системы электроснабжения автономных объектов**

Каркоцкий Д.В., Колчин Е.В.  
Военная академия Республики Беларусь

Не малую долю большой энергетики, в настоящее время, занимает система электроснабжения автономных объектов (СЭС АО). В настоящее время основной способ построения СЭС АО сводится к выбору имеющихся на рынке электротехнического оборудования электроагрегатов (ЭА) согласно максимально требуемой мощности, габаритам ЭА и показателям качества электроэнергии, что является не допустимым с точки зрения построения высокоэффективной СЭС АО. Таким образом, существует необходимость разработки единого подхода, который бы позволил согласно выбранному показателю оптимальности определить структуру и параметры проектируемой СЭС АО с учетом требуемых ограничений, в зависимости от условий эксплуатации.

Разрешение указанной проблемы возможно путем решения задачи структурно-параметрического синтеза СЭС АО согласно комплексному показателю оптимальности «походной массы», характеризующего как конструктивную массу СЭС АО, так и массу топлива, расходуемого за цикл функционирования СЭС АО.

Для решения задачи структурно-параметрического синтеза СЭС АО построена обобщенная графовая модель СЭС. Причем вершинами графа являются результаты выполнения функциональной операции элементами СЭС, которые изображались дугами графа. Такой способ представления обобщенной структуры СЭС позволил не выбирать наилучший вариант построения СЭС из некоторых фиксированных вариантов, а формировать структуру этой системы по заданному показателю оптимальности непосредственно в процессе решения задачи синтеза.

На первом этапе синтеза структуры СЭС АО определены все кратчайшие маршруты (каналы генерирования электроэнергии) согласно заданному показателю оптимальности при помощи применения метода динамического программирования с учетом графика нагрузки и длительности непрерывной работы. После этого на втором этапе определены количество и типы каналов генерирования электроэнергии, входящих в состав оптимальной структуры СЭС АО.

Также разработанная методика может быть использована для определения тактико-технических требований, предъявляемых к проектируемым СЭС АО.

**Методика применения среды MathCad для анализа прохождения сигнала сложной формы через линейную цепь**

Комаров С.К., Степанов А.А., Михальцевич Г.А.  
Военная академия Республики Беларусь

Задача анализа прохождения сигналов сложной формы через линейную цепь и вывода аналитических выражений для спектра входного и выходного сигналов в большинстве случаев вызывает затруднение у обучаемых. С другой стороны, применение программной среды Mathcad позволяет на базе знания основ спектрального анализа без затрат времени на выполнение рутинных расчётов получить точный и наглядный результат.

Выходной сигнал линейной системы представляет собой свёртку входного сигнала и импульсной характеристики. Преобразование Фурье от свёртки даёт произведение спектров сворачиваемых сигналов, так что в частотной области прохождение сигнала через линейную систему описывается следующим образом:

$$S_{\text{вых}}(j\omega) = S_{\text{вх}}(j\omega) \cdot K(j\omega).$$

Здесь  $K(j\omega)$  - преобразование Фурье импульсной характеристики системы, называемое комплексным коэффициентом передачи системы, а модуль и фаза данной функции - соответственно амплитудно-частотной (АЧХ) и фазочастотной (ФЧХ) характеристиками системы. Значение  $K(j\omega)$  показывает, как изменяется при прохождении через систему комплексная амплитуда синусоиды с частотой  $\omega$ . АЧХ показывает, во сколько раз изменится амплитуда синусоиды, а ФЧХ - каков будет полученный ею фазовый сдвиг.

Таким образом, зная спектры входного  $S_{\text{вх}}(j\omega)$  и выходного  $S_{\text{вых}}(j\omega)$  сигналов, а также комплексный коэффициент передачи системы  $K(j\omega)$ , можно без значительных временных и вычислительных затрат осуществить анализ прохождения сигнала сложной формы через линейную цепь. Помимо спектрального метода анализ прохождения сигнала сложной формы через линейную цепь при применении программной среды Mathcad может быть осуществлён также временным методом (с использованием переходной и импульсной характеристик цепи), а также методом наложения (с использованием интегралов Дюамеля и наложения).

Предлагаемая методика позволяет существенно сократить временные затраты и повысить наглядность получаемых результатов, что даёт возможность обучаемым эффективно усваивать материал и выполнять курсовое проектирование.



## Применение среды MathCad для анализа ширины спектра периодического сложного сигнала

Комаров С.К., Степанов А.А., Калета А.Е.

Военная академия Республики Беларусь

Для решения практических задач радиотехники крайне важно знать значение ширины спектра сигнала. Знание данного параметра сигнала позволяет решать задачи эффективного использования диапазона радиочастот.

Решение указанной задачи требует строгого определения понятия «эффективная ширина спектра». На практике существует большое число подходов к определению данного параметра. В том случае, когда сигнал может быть просто описан математически, определение эффективной ширины спектра не встречает затруднений. Иначе обстоит дело при определении параметров сложных периодических сигналов.

Универсальным является подход, использующий энергетические критерии. При таком подходе в качестве эффективной ширины спектра рассматривается диапазон частот, в пределах которых сосредоточена подавляющая часть энергии сигнала. На кафедре «Электротехники и систем электропитания» Учреждения образования «Военная Академия Республики Беларусь», при определении эффективной ширины спектра периодических сложных сигналов активно используется среда Mathcad, которая является наиболее популярной среди инженеров и проектировщиков. В неё встроен вычислитель, текстовый редактор и графический процессор. Вычислитель работает с математическими выражениями, текстовый редактор очень удобен при работе с комментариями, графический процессор позволяет непосредственно после расчёта вывести необходимые графики. Помимо применения среды Mathcad при определении эффективной ширины спектра периодических сложных сигналов, преподавателями кафедры разрабатывается комплекс учебно-методической литературы по системе Mathcad, который включает в себя основные приёмы решения задач по электротехнике и по другим общетехническим и специальным дисциплинам. Среда Mathcad позволяет быстро и с высокой точностью производить расчёты и получать графики части средней мощности  $PD(m)$  сигнала в полосе  $F_m$  в зависимости от количества учитываемых гармоник  $m$ . Применение среды Mathcad при анализе эффективной ширины спектра периодического сложного сигнала существенно экономит время на выполнение рутинных расчётов, а также значительно повышает наглядность получаемых результатов.

## **Параметрический синтез энергоустановки автономного объекта на базе возвратно-поступательного электрического генератора**

Менжинский А.Б., Малашин А.Н., Менжинский П.Б.

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 и металлоемкость СПД [1]. Кроме того, отсутствие КШМ делает такт расширения СПД более быстрым, что снижает потери от теплопередачи тепла в рабочих цилиндрах. Что касается основных эксплуатационных преимуществ СПД, это сниженный на 30 % расход топлива [1], уменьшенная длительность пуска СПД, сниженная шумность за счет возможности обеспечения противофазной работы автономных модулей.

Важное конструктивное преимущество энергоустановок на базе СПД – это сравнительно легкое их модульное исполнение. Необходимый номинал выходной мощности энергоустановки формируется набором некоторого числа автономных модулей. Модульная конструкция энергоустановки на базе СПД обладает повышенной надежностью и живучестью за счет сохранения частичной работоспособности при аварийных отказах части модулей. Кроме того, появляется возможность нагружать СПД на оптимальную нагрузку, тем самым обеспечить его работу в режиме, близком к оптимизированному по расходу топлива.

Параметрический синтез энергоустановки автономного объекта на базе возвратно-поступательного электрического генератора включает в себя следующие основные этапы:

1. Выбор для энергоустановки подходящего типа возвратно-поступательного электрического генератора.
2. Определение требуемого количества модулей в энергоустановке.
3. Определение основных размеров и поверочный электромагнитный расчет возвратно-поступательного электрического генератора.
4. Определение оптимальных размеров отдельных частей генератора.

### **Литература**

Achten, Peter A. J. Design of a Hydraulic Free-Piston Engine / Peter A. J., Achten, Johan P. J. van der Oever, Jeroen Potma E.M. Vael // SAE Off-Highway Engineering. – 2001. – February. – P. 23–28.

**Алгоритм управления  
многофазным преобразователем электрической энергии,  
обеспечивающий работу в условиях несинусоидальной ЭДС**

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

Доклад посвящен вопросам синтеза многофазных электромеханотронных модулей с целью полезного преобразования энергии высших гармонических электродвижущей силы. Рассмотрен вопрос реализации векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для полупроводникового управляемого преобразователя исследуемого модуля.

Проведен анализ возможных комбинаций состояний ключей девятифазного активного выпрямителя (АВ). Для каждого состояния ключей приведены соответствующие базовые вектора в неподвижной системе координат.

В результате анализа возможных 512 комбинаций ключей девятифазного АВ установлено, что ненулевые базовые вектора 8 уровней образуют диаграмму состояний из 4 шестиугольников в неподвижной системе координат  $\alpha\beta$ . Установлено, что существует ряд комбинаций, при которых одному базовому вектору соответствуют два и более различных состояния ключей.

Система базовых векторов продифференцирована на составляющие ее уровни, сектора и подсектора. Любой заданный вектор напряжения, не выходящий за внешний шестиугольник, будет принадлежать одному из подсекторов какого-либо сектора, тем самым определяя ближайшие к нему базовые вектора. Заданный вектор  $\bar{U}$  в общем случае формально может быть представлен в виде линейной комбинации трех ближайших базовых векторов ( $\bar{U}_I, \bar{U}_J, \bar{U}_K$ ):

$$\bar{U} = \gamma_i \bar{U}_I + \gamma_j \bar{U}_J + \gamma_k \bar{U}_K,$$

где  $\gamma_{i,j,k}$  – весовой коэффициент (доля) образующих векторов.

Получены аналитические соотношения весовых коэффициентов для образующих векторов, а также уравнения границ подсекторов, образующих диаграмму комбинаций состояний АВ.

Представленный алгоритм векторной ШИМ позволит обеспечить корректную работу девятифазного АВ в условиях полезного преобразования энергии высших гармонических ЭДС.

## Минимизация размерности матрицы постоянных интегрирования в импедансном методе

Горошко В.И.

Белорусский национальный технический университет

Импедансный метод расчета постоянных интегрирования основан на введении новых электротехнических объектов – свободных сопротивлений и проводимостей, что позволяет применять для расчета свободных составляющих те же методы и приемы, что и для вынужденных режимов. Однако прямое применение импедансного метода приводит к расчету полной системы постоянных интегрирования для всех переменных состояния. В данной работе излагается методика построения системы алгебраических уравнений для расчета постоянных интегрирования только одной переменной состояния. Эта система имеет минимально возможный порядок, равный порядку цепи  $n$ .

Произвольно выбираем опорную переменную состояния, например, свободный индуктивный ток  $i_1$ . Начальное значение тока  $i_1$  равно:

$$i_1(0) = A_{11} + A_{12} + \dots + A_{1n} = B_1. \quad (1)$$

Пусть цепь содержит  $m$  независимых индуктивностей и  $n - m$  независимых емкостей. Выразим каждую переменную состояния через опорную переменную. Для  $k$ -го индуктивного тока получим

$$i_k(0) = M_k i_1(0), \quad k \in [2, m]. \quad (2)$$

Передаточный коэффициент  $M_k$  включает сопротивления и свободные импедансы в общем виде. Переходим к отдельным свободным составляющим (модам). Для первой моды  $i_{k1}(0) = M_{k1} \cdot A_{11}$ , где  $M_{k1}$  – передаточный коэффициент для первой моды, содержащий свободные импедансы первой моды. Аналогичные уравнения получаем для остальных мод. Суммируя уравнения для всех мод, найдем

$$i_k(0) = M_{k1} \cdot A_{11} + M_{k2} \cdot A_{12} + \dots + M_{kn} \cdot A_{1n} = B_k, \quad k \in [2, m]. \quad (3)$$

Для напряжений емкостей составляем уравнения, аналогичные уравнению (2). Записав эти уравнения для каждой моды и сложив уравнения мод для напряжения каждой емкости, получим  $n - m$  уравнений:

$$u_k(0) = M_{k1} \cdot A_{11} + M_{k2} \cdot A_{12} + \dots + M_{kn} \cdot A_{1n} = B_k, \quad k \in [m + 1, n]. \quad (4)$$

Уравнения (1), (3), (4) образуют разрешимую систему из  $n$  уравнений, решение которой дает постоянные интегрирования для опорной переменной. Постоянные интегрирования остальных переменных для каждой моды находим простым умножением найденных постоянных на соответствующий передаточный коэффициент.

УДК 621.396.96

### **Применение сигналов с ограниченной длительностью для частотно-временного анализа процессов**

Шейников А.А., Суходолов Ю.В.  
Военная академия Республики Беларусь

Решение многих задач при спектральной обработке квазипериодических сигналов в измерительной и радиотехнике связано с необходимостью их селекции на фоне шумов. В идеальном случае форма частотной характеристики оптимального фильтра должна совпадать с формой спектра полезного сигнала. Целью исследований – увеличение точности измерений и упрощение алгоритмического обеспечения измерительных систем за счет разработки математического аппарата, позволяющего однозначно определять и учитывать при обработке погрешности, обусловленные конечностью интервалов измерений.

В условиях постоянного роста вычислительных возможностей средств измерений резервом повышения чувствительности методов обработки квазипериодических сигналов представляется установление однозначной зависимости между локальными вариациями временных параметров сигнала и изменениями параметров его спектра. Вариации значений параметров сигналов приводят к нарушению исходного распределения гармонических составляющих, при котором одни из них подвергаются наибольшему изменению, а другие – наименьшим. Точность измерений предлагается увеличить за счет замены малочувствительной регистрации изменений временных параметров сигналов, регистрацией изменений параметров характерных гармонических составляющих спектра, обладающих максимальной чувствительностью к отклонениям контролируемого параметра и минимальной чувствительностью к отклонениям, обусловленным нестабильностью работы измерительной аппаратуры.

На основании этого подхода разработан соответствующий практике математический аппарат, позволяющий однозначно определять погрешности, обусловленные конечностью интервалов измерений квазипериодических сигналов. Автоматический учет этих погрешностей позволяет обойтись без сложной корреляционной обработки квазипериодических сигналов, требующей больших вычислительных ресурсов и обеспечить точность измерений.

## Унифицированная методика применения критерия Найквиста

Горошко В.И.

Белорусский национальный технический университет

Для суждения об устойчивости замкнутой системы в рамках критерия Найквиста по виду АФЧХ необходимо дополнительно знать расположение корней характеристического уравнения разомкнутой системы относительно мнимой оси. Количество корней в правой полуплоскости можно установить в поле критерия Рауса, как количество отрицательных элементов первого столбца таблицы Рауса или подсчитав число перемен знака в последовательности отношений определителей Гурвица. Эту же задачу можно решить в среде критерия Михайлова. Для систем достаточно высокого порядка эти процедуры громоздки, поэтому целесообразнее их проводить не для разомкнутых систем, а непосредственно для замкнутых. Но в результате становится излишним применение критерия Найквиста.

Между тем небольшая модификация передаточной функции разомкнутой системы позволяет полностью устранить проблему количества «правых» корней для критерия Найквиста. Помимо этого, исключается разная интерпретация критерия Найквиста для трех случаев разомкнутых систем: система устойчива; система на границе устойчивости; система неустойчива.

Пусть передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{c_0 p^n + c_1 p^{n-1} + \dots + c_n}, \quad m < n.$$

Характеристический полином замкнутой системы

$$D(p) = Q(p) + R(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n.$$

Если перемещать в  $W(p)$  отдельные слагаемые из числителя в знаменатель или наоборот, то эти перемещения не изменят полином  $D(p)$ , то есть не повлияют на устойчивость/неустойчивость замкнутой системы.

Оставим в знаменателе функции  $W(p)$  только старший член  $c_0 p^n$ , а все остальные члены перенесем в числитель

$$W_M(p) = (k_0 p^{n-1} + k_1 p^{n-2} + \dots + k_{n-1}) / c_0 p^n.$$

Полученная модифицированная передаточная функция допускает моделирование и соответствует астатической системе. Таким образом, эта процедура сводит все многообразие разомкнутых систем к системам одного типа, а именно к астатическим системам. Как показывает опыт, АФЧХ модифицированных систем геометрически проще, не содержат разрывов и для них вполне «прозрачен» критерий Найквиста.

**Механический расчет гибких проводов с заградительными шарами**

Сергей И.И., Бладыко Ю.В., Абраменко М.В.

Белорусский национальный технический университет

Авиационные заградительные шары-маркеры на высоковольтных проводах служат для визуального предупреждения пилотов о наличии линий электропередач, в особенности проходящих через водные препятствия и ущелья.

Расчет механических напряжений и стрел провеса проводов с шарами возможен при представлении проводов гибкой упругой нитью, что позволяет решить задачу учета упругих и температурных удлинений провода в различных режимах климатических воздействий. Поэтому в основу разработанного в БНТУ векторно-параметрического метода механического расчета проводов распределительных устройств и проводов воздушных линий положена расчетная модель проводов в виде гибкой упругой нити [1].

Учесть сосредоточенные нагрузки от шаров позволяет разработанная по этому алгоритму программа расчета статики проводов. В исходном режиме без сфер задавалось тяжение провода (троса), затем в полете крепились шары. Пример расчета приведен в таблице.

Пролет 400 м (провод 264/34 АСRS)	Тяжение, даН	Стрелы провеса на расстоянии от опоры, м			
		50 м	100 м	150 м	200 м (макс.)
без сфер	1490	5,76	9,87	12,34	13,16
7 сфер через 50 м суммарным весом 35 даН	1608	5,84	9,96	12,45	13,28
3 сферы через 100 м суммарным весом 35 даН	1640	5,79	10,08	12,48	13,38
1 сфера в центре весом 35 даН	1671	5,66	9,85	12,58	13,83

**Литература**

Анализ действия гололедно-ветровых и электродинамических нагрузок в пролетах с произвольным расположением проводов / И.И. Сергей, Ю.В. Бладыко, Е.Г. Пономаренко, Б.Д. Цемехман, В.Е. Тарасов // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2012. – № 1. – С. 38–44.

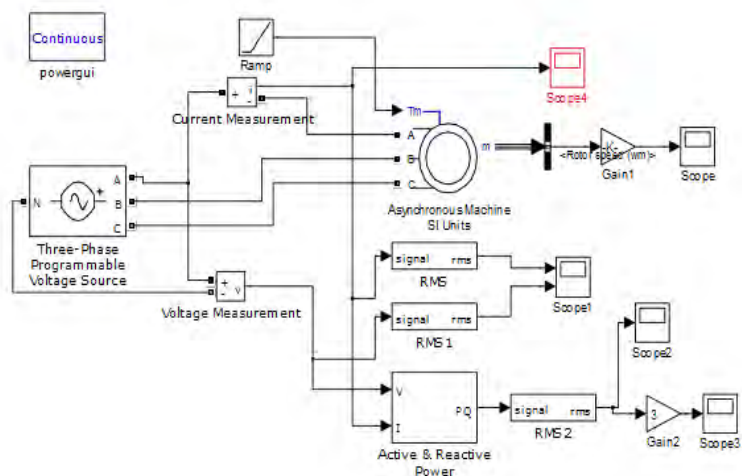
## Программный комплекс для моделирования режимов трехфазного асинхронного электродвигателя

Новаш И.В., Шеметовец Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Исследование аварийных режимов асинхронного электродвигателя (АД) можно проводить с помощью компьютерного программного комплекса (КПК), позволяющего реализовать исследования методом вычислительного эксперимента на компьютере.

Для получения достоверных результатов моделирования аварийных режимов АД необходимо в первую очередь добиться достоверности отражения пусковых и нагрузочных режимов. Для этого должны быть правильно определены и заданы параметры модели самого АД. Отладка моделирования режимов работы АД при различных условиях питающего источника и вариациях параметров модели может быть проведена с помощью КПК представленного на рисунке. КПК разработан в системе динамического моделирования Matlab-Simulink, в библиотеке которой имеются примеры АД различных мощностей.



Диалоговое окно программного комплекса



## Программный комплекс для исследования цифровых фильтров микропроцессорных релейных защит

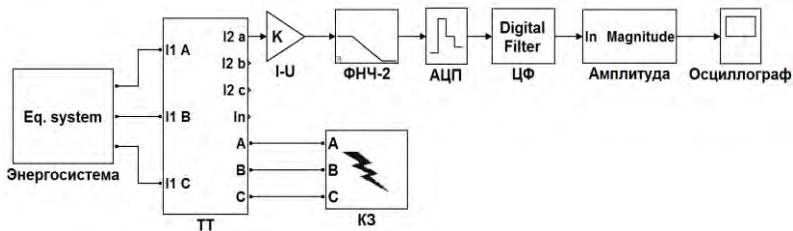
Новаш И.В., Румянцев Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Компьютерный программный комплекс (КПК) «Digital Filter» позволяет исследовать работоспособность различных типов цифровых фильтров (ЦФ), используемых в измерительных органах цифровых токовых защит электроустановок. Назначение ЦФ заключается в выделении полезного сигнала (обычно это основная гармоника, реже – высшая, кратная основной) и в максимально возможном подавлении помехи.

В зависимости от набора компонент в помехе, формируются различные алгоритмы построения ЦФ, такие как: ЦФ на основе метода наименьших квадратов, на основе дискретного преобразования Фурье, а также формирователи ортогональных составляющих.

КПК «Digital Filter» разработан в среде MATLAB (версия R2011b). Модели фрагмента электрической сети «Энергосистема» и основных элементов измерительного органа тока цифровой защиты реализованы с использованием библиотечных блоков пакета расширения Simulink-SimPowerSystems (рисунок).



Структура модели

### Литература

Румянцев, Ю. В. Реализация цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты / Ю. В. Румянцев, Ф. А. Романюк, В. Ю. Румянцев, И. В. Новаш // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2016. – № 5. С. 397–417.

**Принципы выполнения токовой защиты линий электропередачи  
от междуфазных коротких замыканий**

Романюк Ф.А., Румянцев В.Ю., Шевалдин М.А.  
Белорусский национальный технический университет

Токовые защиты линий электропередач от междуфазных замыканий (КЗ) во многих случаях имеют недостаточную чувствительность к двухфазным повреждениям, особенно в зоне дальнего резервирования.

Это обусловлено необходимостью отстройки первых ступеней указанных защит от максимального тока КЗ при повреждениях в начале смежного участка, а последних – от тока максимальных нагрузок.

Повышение чувствительности первой ступени защиты можно получить, уменьшив ток срабатывания путем отстройки от минимального тока КЗ при повреждениях за пределами линии. При этом для обеспечения селективности действия защиты при внешних КЗ необходимо дополнительно контролировать зону повреждения. Если указанная зона расположена на защищаемой линии, то действие первой ступени защиты на отключение следует разрешать, в противном случае – блокировать.

Такое выполнение первой ступени токовой защиты предполагает реализацию функции определения зоны повреждения.

Последняя ступень защиты выполняется реагирующей на полные токи фаз линий при симметричных КЗ, а при несимметричных повреждениях – на ток обратной последовательности.

Благодаря этому последняя ступень защиты при несимметричных КЗ не требует отстройки от нагрузочных режимов, а отстраивается от небалансов фильтров обратной последовательности и от тока обратной последовательности длительно допустимой несимметрии. Это обеспечивает существенное снижение тока срабатывания указанной ступени и приводит к увеличению ее чувствительности.

Такое выполнение последней ступени защиты предполагает реализацию функции определения вида повреждения.

**Литература**

Романюк, Ф.А. Повышение чувствительности токовой защиты к несимметричным повреждениям на линиях электропередачи напряжением 6–35 кВ / Ф.А. Романюк, М.А. Шевалдин // Энергетика и ТЭК. – 2016. – № 4. – С. 23–25.

## **Определение вида междуфазного короткого замыкания на линиях 6–35 кВ**

Романюк Ф.А., Каченя В.С.

Белорусский национальный технический университет

Одним из существенных недостатков токовых защит линий распределительных сетей 6–35 кВ от междуфазных коротких замыканий (КЗ) является, во многих случаях, недостаточная чувствительность ступеней к несимметричным повреждениям. Данная проблема решается использованием адаптивных защит, в которых для соответствующего вида КЗ рассчитывается своя уставка. Ключевая особенность данного принципа – это правильное определение вида повреждения.

Междуфазные КЗ бывают трёхфазными и двухфазными, в виду этого основным свойством способа определения уравновешенного КЗ является умение различать эти виды повреждений. Ключевым фактором, влияющим на верное определение двухфазного короткого замыкания, значится влияние на ток повреждённых фаз тока нагрузки. Это обусловлено тем, что в неповреждённой фазе будет протекать ток нагрузки, который в повреждённых фазах векторно складывается с токами КЗ. Трудности, которые возникают при определении трёхфазного КЗ обусловлены наличием несимметричного переходного сопротивления в месте возникновения повреждения, что в свою очередь приводит к возникновению несимметрии в токах КЗ.

Авторами предложен алгоритм, который рассчитывает граничный уровень относительной несимметрии для двухфазного КЗ в зависимости от действительного значения тока нагрузки и сравнивает его с уровнем относительной несимметрии токов фаз. Работоспособность способа проверялась методом вычислительного эксперимента с использованием математической модели сети 10 кВ. Полученные результаты подтвердили эффективность предлагаемого решения.

Одним из главных достоинств способа является то, что он работает на границе верного определения вида двухфазного КЗ при повреждениях в конце контролируемой зоны. Данная адаптивность гарантирует правильную идентификацию двухфазного КЗ. Так же данная особенность даёт повышенную надёжность к установлению вида трёхфазного повреждения.

### **Литература**

Романюк Ф.А. Определение вида междуфазного КЗ в токовых защитах линий 6–35 кВ / Ф. А. Романюк, О. А. Гурьянчик, М. А. Шевалдин, В. С. Каченя // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2017. – № 1. – С. 5–15.

**Расчет колебаний проводов воздушных ЛЭП  
на участках между дистанционными распорками**

Сергей И.И., Климкович П.И.

Белорусский национальный технический университет

Расщепление фаз воздушных ЛЭП привело к появлению нового вида колебаний проводов под действием ветра на участках между распорками – субколебаний. При субколебаниях провода двигаются по эллиптическим орбитам, сближаясь и удаляя друг от друга. При этом из-за изгиба проводов на распорки действуют переменные силы от проводов двух смежных подпролетов. Величины этих сил могут быть значительными и приводить к усталостному повреждению как лучей распорок, так и самих проводов.

Для решения актуальной задачи расчета субколебаний расщепленных проводов воздушных ЛЭП в БНТУ разработан численный метод расчета динамики расщепленной фазы в пределах одного пролета. Действие смежных пролетов заменяется динамическими силами. Подвесные гирлянды изоляторов в расчетах заменяются твердым телом. Дистанционные распорки моделируются системой сосредоточенных масс и пружин. Ветровая нагрузка определяется с учетом аэродинамического следа. Расчет этих нагрузок производится на основе опытных данных, полученных в результате экспериментальных исследований в аэродинамической трубе. Провода представляются однородной нитью, не сопротивляющейся изгибу. Уравнения движения гибкой нити записываются в векторно-параметрической форме:

$$\rho \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{\partial \bar{R}}{\partial t} \frac{\partial \bar{R}}{\partial s} \right) + P,$$

где  $\rho$  – масса единицы длины провода;  $R$  – радиус-вектор, определяющий пространственное положение провода;  $t$  – текущее время динамического режима;  $s$  – дуговая координата по длине провода;  $T$  – модуль тяжения. Распорки разбивают провода на участки. В соответствии с принципом связи механики действие на распорку проводов заменяется реакциями связей. Таким образом формулируется краевая задача расчета субколебаний расщепленных фаз воздушных ЛЭП. По разработанному алгоритму составлена компьютерная программа расчета субколебаний проводов. Оценка достоверности численных расчетов выполнена сравнением результатов компьютерных расчетов с опытными данными, полученными рабочей группой СИГРЭ В6 «Воздушные линии».

**Расчет расходной характеристики  
механизмов собственных нужд станции**

Силюк С.М.

Белорусский национальный технический университет

Производство электрической и тепловой энергии на электростанциях всегда сопровождается расходом некоторой части энергии для нужд самой электростанции. Последняя расходуется в основном на приведение в движение многочисленных механизмов собственных нужд, обслуживающих как основные агрегаты (котлы, турбины), так и вспомогательные цехи станции. Наибольшее применение в системе собственных нужд электростанций имеют лопастные центробежные машины.

Режим работы механизмов собственных нужд зависит как от состояния основных агрегатов, так и состояния самих механизмов собственных нужд.

Любой технологический процесс подвержен воздействию различного рода возмущений, поэтому параметры, характеризующие режим работы и состояние оборудования, непрерывно меняют свои значения, т.е. являются функциями времени.

От экономичности работы механизмов собственных нужд существенно зависят показатели работы современных тепловых электростанций.

При оптимизации режимов и расчетах технико-экономических показателей исходной информацией являются расходные характеристики основных агрегатов, механизмов собственных нужд станции и характеристики станции в целом. Общепринятые методы получения энергетических характеристик оборудования предполагают специальные испытания, связанные с большими затратами времени и средств, что делает невозможным их частое проведение. Это приводит к несоответствию характеристик действительному состоянию оборудования и, в конечном счете, отражается на экономичности работы станции энергосистемы.

Нами, используя применение полного дифференциала функции нескольких переменных в приближенных вычислениях, получены достаточно простые зависимости для расчета расходных характеристик питательных насосов, дымососов, вентиляторов, шаровых барабанных мельниц, конденсатного насоса, с помощью которых учитывается реальное состояние самих механизмов, а также состояние основных агрегатов, которые они обслуживают.

Пономаренко Е.Г., Маркевич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Электроустановки класса напряжения 330 кВ и выше с гибкими проводниками в Республике Беларусь традиционно выполняются с расщепленной фазой, составными элементами которой являются дистанционные распорки. В процессе эксплуатации расщепленных фаз воздушных линий и гибкой ошиновки распределительных устройств при пляске проводов, в режиме короткого замыкания, а также при ураганах или сильных порывах ветра были отмечены заметные крутильные колебания расщепленной фазы. Итогом таких колебаний может быть перекручивание элементарных проводников относительно оси фазы с невозвратом в исходное положение. В результате нарушается спроектированная геометрия расщепленной фазы, увеличиваются тяжения, в месте закручивания наблюдается интенсивное коронирование у поверхности проводников.

Для расчета подобных явлений на кафедре «Электрические станции» БНТУ был разработан метод расчета крутильных колебаний проводов при указанных выше видах воздействий. В качестве реализации разработанного метода была проведена модификация компьютерной программы LINEDYS+, собственной разработки авторов, в которой реализован численный метод расчета динамики проводов при их произвольном расположении в пространстве.

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, что подтверждается наблюдениями и проведенными расчетами.

В разработанной компьютерной программе возбуждение колебаний расщепленной фазы производится приложением к внутрифазным распоркам крутящего момента. Графическая визуализация процесса расчета позволяет определить, произошло ли закручивание проводов в фазе.

С помощью компьютерной программы была определена критическая длина подпролета, при которой возможно скручивание проводников в расщепленной фазе. Можно утверждать, что если первый от опоры подпролет будет иметь длину 20 % и менее от всей длины пролета, то крутильная стабильность не будет нарушена.

**Асаблівасці праектавання ступеневых токавых засцярог  
ад замыканняў на зямлю для ліній з узаемнай індуктыўнасцю**

Бобка М.М.

Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт

Ток спрацоўвання першай ступені ТЗНП, усталяванай на адной з паралельных ліній, павінен быць адладжаны ад тока  $3I_0$ , які працякае пры адключанай і заземленай на абодвух канцах другой паралельнай лініі. Таксама гэты ток павінен быць адладжаны ад тока  $3I_0$ , які працякае па лініі пры кароткім замыканні на зямлю на паралельнай лініі паблізу шын падстанцыі, дзе ўсталявана дадзеная засцярога, і каскадным адключэнні паралельнай лініі.

Ток спрацоўвання другой ступені ТЗНП, усталяванай на адной з паралельных ліній, павінен быць адладжаны ад тока ў месцы ўсталявання засцярогі пры замыканні на зямлю ў канцы зоны дзеяння першай ступені папярэдне ўключанай лініі пры рабоце адной з паралельных ліній дадзенага ўчастка і заземленні другой паралельнай лініі на абодвух яе канцах. Таксама гэты ток павінен быць адладжаны ад тока  $3I_0$ , які працякае ў месцы ўсталявання другой ступені пры каскадным адключэнні замыкання на зямлю на паралельнай лініі, калі ток  $3I_0$  у паралельнай лініі меншы, чым ток спрацоўвання першай ступені яе засцярогі.

Разліковым рэжымам для выбару тока спрацоўвання другой ступені ТЗНП на адзіночнай лініі пры наяўнасці двух паралельных ліній на папярэднім участку можа быць рэжым работы адной або абодвух паралельных ліній на папярэднім участку. Рэжым работы абодвух паралельных ліній на папярэднім участку будзе разліковым, калі пры замыканні на зямлю ў канцы зоны дзеяння першай ступені адной з паралельных ліній папярэдняга ўчастка ток  $3I_0$  у непашкоджанай лініі будзе мець аднолькавы накірунак з токам у пашкоджанай лініі. Пры несупадзенні накірункаў токаў  $3I_0$  у пашкоджанай і непашкоджанай паралельных лініях разліковым будзе рэжым работы адной паралельнай лініі.

**Літаратура**

Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110–500 кВ: Расчеты. – М.: Энергия, 1980. – 88 с.

## К определению потерь мощности в поддерживающих конструкциях пофазно-экранированных генераторных токопроводов

Булат В.А.

Белорусский национальный технический университет

При оптимизации потерь мощности в конструкциях пофазно-экранированных генераторных токопроводов требуется определять потери в окружающих металлоконструкциях. Потери мощности в элементах металлоконструкций зависят от величины результирующей напряженности магнитного поля токопроводов. Поддерживающие стальные конструкции токопровода представляют собой Т-образные металлоконструкции состоящие из сварных ажурных стоек изготовленных из полос и уголков и балок в виде швеллеров. Такие стальные конструкции можно рассматривать как «массивные» тела. Потери мощности в таких телах находятся по выражению:

$$P_{п.к.} = F \cdot \frac{H_M^2}{2} \cdot \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_{ст}}{2 \cdot \gamma_{ст}} \cdot (1 + \alpha_{ст})},$$

где  $F$  – поверхность, через которую поле проникает в металл;  $H_M$  – амплитуда напряженности результирующего магнитного поля на поверхности стали;  $\mu_{ст}$  – модуль комплексной магнитной проницаемости стали;  $\alpha_{ст}$  – аргумент комплексной магнитной проницаемости;  $\gamma_{ст}$  – удельная проводимость стали.

Определение потерь мощности в каждом элементе поддерживающей конструкции требует отыскания тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля на поверхности металла. Величину этой напряженности можно рассчитать через напряженность магнитного поля в воздухе при отсутствии металла, т. е.  $H_{ст} \approx (0,8-0,9) \cdot H_{возд.}$  Для расчета комплексной амплитуды тангенциальной составляющей напряженности в воздухе при отсутствии металла для горизонтальных и вертикальных элементов поддерживающей конструкции использовались известные методики.

При расчете потерь мощности в наклонно расположенных элементах поддерживающих опор с целью упрощения предлагается определять их так же, как и в вертикальных элементах.

Протяженные конструкции разделялись на элементарные участки. Величина напряженности принималась постоянной по всей длине элементарного участка. Суммарные потери активной мощности в элементарных участках составят полные потери мощности в поддерживающих конструкциях.



**Принципы выполнения ступенчатых токовых защит линий радиальных сетей 6–35 кВ с односторонним питанием**

Булойчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В радиальных сетях 6–35 кВ с односторонним питанием для защиты линий электропередачи от междуфазных коротких замыканий преимущественно используются максимальные ступенчатые токовые защиты, выполненные на трех элементных базах: электромеханической, микроэлектронной и микропроцессорной. Электромеханические устройства защиты в большинстве своем физически устарели и требуют замены, доля микроэлектронных устройств не превышает нескольких процентов. В настоящее время на новых и модернизируемых энергетических объектах в Республике Беларусь в качестве основных предусматривается установка устройств защиты, выполненных средствами микропроцессорной техники.

Анализ микропроцессорных устройств защиты отечественных и зарубежных производителей показал, что они снабжаются трех- или четырехступенчатыми токовыми защитами с независимой или зависимой характеристиками выдержки времени на выбор пользователя. Для последней ступени также может предусматриваться комбинированный пуск по напряжению или блокировка минимального напряжения.

Автоматическое уменьшение времени отключения повреждения при увеличении тока КЗ обеспечивается использованием обратнoзависимой характеристики выдержки времени. Однако быстродействие защиты при этом зависит от режима работы сети, наличия дуги в месте КЗ, вида повреждения и других факторов, вследствие чего в зоне дальнего резервирования выдержка времени может оказаться недопустимо большой. Хорошо известным способом повышения чувствительности максимальной токовой защиты является применение пусковых органов напряжения. Однако их чувствительность может быть недостаточной для четкой работы защиты при удаленных повреждениях на линиях большой протяженности, когда на шинах в месте установки защиты остаточное напряжение будет велико, а составляющие обратной последовательности малы.

Таким образом, существующие микропроцессорные токовые защиты линий распределительных сетей имеют те же принципы выполнения и алгоритмы работы, что и устройства на предшествующих элементных базах, и большие возможности микропроцессорной элементной базы не в полной мере используются для улучшения отдельных свойств токовой защиты.

**Совершенствование методов расчета  
электродинамических усилий  
в системах произвольно расположенных  
в пространстве проводников**

Губанович А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Рост уровней токов короткого замыкания в энергосистемах сопровождается усилением интенсивности электромагнитных полей, и, следовательно, существенным увеличением электродинамических усилий (э.д.у.) на токоведущие конструкции электрических машин, аппаратов и распределительных устройств. Токоведущие системы машин, аппаратов и устройств имеют различное взаимное положение в пространстве от простого параллельного до сложного произвольного расположения проводников различной формы.

Для простых случаев расположения в литературе имеются выражения для расчета э.д.у. Более сложные произвольные пространственные случаи расположения проводников не прямолинейной формы ранее предлагалась рассматривать как совокупность взаимодействия прямолинейных конечных отрезков, вписанных в сложную пространственную форму. Выражения для расчета э.д.у. произвольно расположенных в пространстве прямолинейных проводников, окружностей и винтовых линий были получены на основе их векторно-параметрического представления.

В данной работе предлагается уточненный метод расчета индукции и э.д.у. в лобовой части обмотки статора мощных генераторов.

На основе закона Био-Савара-Лапласа, а также векторно-параметрического представления произвольно расположенных в пространстве прямолинейных проводников, дуг окружности, а также выражений, описывающих геометрию эвольвенты, наложенной на поверхность конуса в полярных координатах, получены выражения для расчета поля и э.д.у. Выражения получены в интегральной форме, в явном виде не разрешаются и требуют применения численных методов.

Применение разработанных методов позволит более точно производить расчеты полей и э.д.у. в системах проводников сложной формы, что, в конечном счете, приведет к получению более оптимальных и рациональных конструкций соответствующих токоведущих систем.

## Расчет импульсных характеристик заземлителей электроустановок

Дерюгина Е.А., Григорьев Р.Д.

Белорусский национальный технический университет

Расчет, анализ и исследование электромагнитных характеристик заземлителей электроустановок при стекании импульсных токов молнии в последнее время являются актуальными. Связано это с вопросами обеспечения электромагнитной совместимости и оценки электромагнитной обстановки современных электроэнергетических объектов. Здесь, наряду с традиционными требованиями к защитному заземлению и заземлению молниезащиты, необходимо учитывать возможность выноса высокого потенциала на цепи вторичной коммуникации.

Расчет характеристик вертикальных заземлителей основан на применении вектора Пойнтинга. По мгновенным значениям проекций векторов плотности тока и напряженности магнитного поля в земле и заземлителе найдем импульсное сопротивление стержня заземлителя  $R_{с.н}(t)$ , импульсное сопротивление растеканию тока в земле  $R_{з.н}(t)$ , общее сопротивление  $R_{н}(t)$  и напряжение на заземлителе в импульсном режиме  $u(t)$ :

$$R_{с.н}(t) = \frac{2\pi r_2}{\gamma_1 i^2(t)} \int_{-l}^0 \sigma_{1z}(r_2, z, t) H_{1\phi}(r_2, z, t) dz ; \quad (1)$$

$$R_{з.н}(t) = \frac{2\pi}{\gamma_2 i^2(t)} \int_{r_2}^{r_{06}} r \sigma_{2r}(r, 0, t) H_{2\phi}(r, 0, t) dr ; \quad (2)$$

$$R_{н}(t) = R_{з.н}(t) + R_{с.н}(t) ; \quad (3)$$

$$u(t) = \frac{1}{\gamma_2} \int_{r_2}^{r_{06}} \sigma_{2r}(r, 0, t) dr , \quad (4)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2$  – удельная проводимость заземлителя и земли соответственно;  $i(t)$  – ток молнии, стекающий в заземлитель;  $\sigma_{1z}, \sigma_{2r}$  – вертикальная и радиальная проекции вектора плотности тока в заземлителе и земле соответственно;  $H_{2\phi}$  – угловая проекция вектора напряженности магнитного поля,  $r_2$  – внешний радиус заземлителя;  $r_{06}$  – расстояние до заземлителя с обратным током;  $l$  – длина заземлителя;  $r, z$  – координаты.

Выражения (1)–(4) позволяют определять импульсные характеристики вертикальных заземлителей электроустановок для любой зависимости тока.

**Токовые защиты линий распределительных сетей  
от междуфазных коротких замыканий  
и пути их совершенствования**

Булойчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее массовыми объектами энергосистемы являются линии электропередачи распределительных сетей 6–35 кВ, что обуславливает возникновение на них наибольшего количества повреждений в сравнении с линиями более высоких классов напряжения. На линиях 6–35 кВ с односторонним питанием для защиты от многофазных коротких замыканий (КЗ) преимущественно используются ступенчатые токовые защиты, выполненные на трех элементных базах: электромеханической, микроэлектронной и микропроцессорной. Преимуществом средств микропроцессорной техники является возможность реализации алгоритмических и технических решений различной сложности, что можно использовать для повышения технического совершенства защит. Однако существующие микропроцессорные токовые защиты линий имеют те же принципы выполнения и алгоритмы работы, что и устройства на предшествующих элементных базах, чем обусловлено наличие у них ряда недостатков. Так, быстродействующая ступень не редко имеет сравнительно короткую и зону мгновенного отключения, которая к тому же зависит от режима работы распределительной сети, наличия и величины дугового сопротивления и вида повреждения. Для сильно нагруженных линий медленнодействующие ступени защиты могут иметь недостаточную чувствительность к несимметричным коротким замыканиям.

Анализ научных публикаций показал, что перспективными направлениями для достижения высокого технического совершенства микропроцессорной токовой защиты линий распределительных сетей являются:

– разработка защит, не требующих использования измерительных электромагнитных трансформаторов тока;

– разработка обратнoзависимых характеристик выдержки времени нового вида, позволяющих ограничить или исключить влияние такого рода факторов, как зависимость от режима работы сети, наличие переходного сопротивления в месте КЗ, вид повреждения и др.;

– введение в алгоритм функционирования защиты дополнительных функций, заключающихся в определении места и (или) вида повреждения для расширения зоны мгновенного отключения и повышения чувствительности к несимметричным режимам путем их выявления и автоматического изменения уставок защиты соответствующим образом.

**Определение тока электродинамической стойкости  
гибкой ошиновки распределительного устройства 110 кВ  
действующей подстанции**

Климкович П.И., Баран А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Выполнено исследование электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительного устройства (РУ) 110 кВ подстанции 110/10 кВ. Распределительное устройство подстанции состоит из шести шинных пролетов длиной 18 м, 19 м и 27 м, а также восьми анкерных пролетов длиной 25 м, 21 м, 16,7 м и 16 м. Ошиновка РУ выполнена проводом АС-185/29, для подвеса которого использованы гирлянды изоляторов 10×ПС70Е. Вычислительный эксперимент проведен как в режиме «нормальной» эксплуатации (температура воздуха в 25 °С при отсутствии ветра и гололедного отложения), так и в четырех регламентированных ПУЭ климатических режимах.

Вычислительный эксперимент выполнен с помощью компьютерной программы FleBus путем проведения серийных расчетов для токов короткого замыкания от 0 кА до 50 кА с шагом 0,5 кА при двухфазных коротких замыканиях между фазами А и В, В и С и А и С.

Анализ результатов вычислительного эксперимента показывает, что в режиме «нормальной» эксплуатации: по критерию схлестывания проводов фаз ток электродинамической стойкости в 21 кА имеют анкерные пролеты длиной 21 м; по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин – наименьший ток электродинамической стойкости в 16 кА имеет шинный пролет длиной 27 м; по критерию схлестывания спусков отпайки – наименьший ток электродинамической стойкости в 23 кА имеет анкерный пролет длиной 16,7 м.

Оценка результатов расчета для регламентированных ПУЭ климатических режимов показывает что: по критерию схлестывания проводов фаз наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеют анкерные пролеты длиной 25 м и 21 м; по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин – наименьший ток электродинамической стойкости в 16 кА имеет шинный пролет длиной 27 м; по критерию схлестывания спусков отпайки – наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеет анкерный пролет длиной 16,7 м.

На основании проведенного анализа результатов вычислительного эксперимента можно сделать заключение, что ток электродинамической стойкости исследуемого РУ по критерию схлестывания составляет 16 кА.

## SAW-технологии как средства диагностики электрического оборудования

Сапожникова А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Основной задачей диагностики является поиск неисправных элементов, т. е. определение места, а возможно, и причины появления отказа. В силу этого, диагностика является эффективным средством повышения надежности электрооборудования в процессе его эксплуатации.

Методология профилактического и предупредительного технического обслуживания расширилась благодаря появлению новых технологий. В настоящее время во всем мире широкое применение получили датчики на поверхностных акустических волнах (ПАВ-технологии) от английского Surface-AcousticWave (*SAW*). Датчики на основе поверхностных акустических волн (ПАВ) служат для измерения целого ряда физических и химических величин: давления, температуры, химического состава и др.

Принцип работы ПАВ-датчиков основан на двух физических явлениях: поверхностных акустических волнах и пьезоэлектричестве. В промышленности ПАВ-технологии используют в датчиках для определения температуры, влажности, частичных разрядов и т. д. Система мониторинга электрооборудования представляет собой сам ПАВ-датчик, беспроводную систему опроса датчиков и контроллер сбора информации и выдачи результатов измерения. Датчики не нуждаются в источнике питания, есть возможность подбора различной резонансной частоты для разных датчиков, нечувствительность к электромагнитным помехам, защищенность от внешних воздействий. Датчики могут быть применены для диагностирования электрооборудования и прогнозирования выхода его из строя. Концепция системы с датчиками дает доступ к большому диапазону параметров, которые могут подвергаться постоянному мониторингу, который не только дает конечному пользователю информацию о том, когда выполнять техобслуживание, но также и оповещает о наличии проблемы.

Мониторинг параметров, связанных с потенциальными режимами отказа оборудования, позволяет решить две ключевые задачи: во-первых, оповестить конечных пользователей о существующем отказе и во-вторых, рекомендовать параметры технического обслуживания и/или проверок, основанных на анализе тенденций изменения параметров, способствующих отказу, а не на запланированных отключениях. Тем самым избежать издержек на планово-предупредительные ремонты электрооборудования систем электроснабжения.

## Блокировка дистанционной защиты при качаниях мощности в энергосистеме

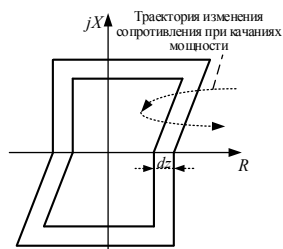
Ломан М.С.

ОАО «Белэлектромонтажналадка»

При качаниях мощности в энергосистеме измеряемое дистанционным органом сопротивление циклически снижается, что может привести к ложной работе защиты от междуфазных коротких замыканий (КЗ). Для отстройки от указанных режимов в микропроцессорных дистанционных защитах применяют специальные блокировки, основанные на контроле скорости изменения сопротивления. При КЗ сопротивление изменяется скачкообразно, а при качаниях мощности – относительно медленно. Для обнаружения качаний мощности к зоне срабатывания дистанционной защиты дополнительно дорабатывают «дельта»-зону и измеряют время прохода сопротивления через нее (рисунок).

С целью повышения надежности определения режима качаний предложены дополнительные критерии: 1) траектория анализируется на монотонность, монотонное изменение сопротивления характерно для режима качаний; 2) скорость изменения сопротивления на каждом последующем шаге измерений не должна превышать предыдущее более чем в 3 раза; 3) пуск алгоритма определения качаний выполняется при изменении сопротивления выше пороговой величины. Цель работы – оценка эффективности функционирования предлагаемой блокировки дистанционных защит в режимах качаний мощности.

Исследование функционирования предлагаемой блокировки дистанционных защит в режимах качаний мощности и режимах КЗ выполнено методом вычислительного эксперимента. Для формирования входных сигналов использованы программные модули NetSim Omicron СМС 356 и «Модель энергосистемы» РЕТОМ-61. Предлагаемые усовершенствования позволяют реализовать блокировку при качаниях мощности в 10-ти миллисекундном программном цикле микропроцессорного терминала защиты. При этом обеспечивается надежное определение режимов качаний с частотой скольжения до 3 Гц. Усовершенствованный способ блокировки применен в микропроцессорном терминале дистанционной защиты линии 110 кВ МР771.



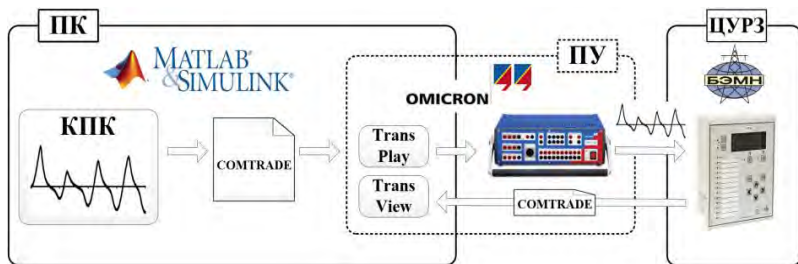
Характеристика блокировки при качаниях мощности

## Аппаратно-программный испытательный комплекс для проверки работоспособности цифровых токовых защит

Румянцев Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Испытание цифровых устройств релейной защиты (ЦУРЗ) с помощью аппаратно-программных испытательных комплексов (АПИК) подразумевает физическое воспроизведение заранее полученных цифровых осциллограмм обобщенного электроэнергетического объекта (ОЭО) проверочной установкой (ПУ), к аналоговым выходам которой подключены аналоговые входы тока испытуемого ЦУРЗ (рисунок). Управление ПУ осуществляется при помощи персонального компьютера (ПК) с установленным на нем специализированным программным обеспечением (ПО) производителя проверочной установки. ПО отвечает за запуск или останов тестирования, конфигурирование проверочной установки, просмотр и анализ результатов. Моделирование ОЭО для настоящего АПИК проводилось в системе динамического моделирования Matlab-Simulink-SimPowerSystems.



Структура АПИК

В качестве объекта исследования выбрана максимальная токовая защита мгновенного действия, входящая в состав ЦУРЗ типа МР 801. Полученные в результате моделирования сигналы вторичного тока трансформатора тока преобразовывались в формат COMTRADE и далее воспроизводились с помощью ПУ типа Omicron СМС 356. Проведенные эксперименты позволили выявить некоторые особенности функционирования ЦУРЗ. Так, при наличии в токе повреждения аperiodической составляющей, вычисляемое цифровым фильтром действующее значение сигнала – существенно занижено по сравнению с истинным значением, что приводит к затягиванию времени срабатывания реле.



## Анализ параметров кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с индивидуальными и общим экранами

Гефтер М.В.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) занимают все больший сегмент рынка кабельно-проводниковой продукции. Кабели с изоляцией из СПЭ имеют ряд существенных преимуществ перед кабелями с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ):

- пропускная способность кабелей с изоляцией из СПЭ в 1,2–1,3 раза выше при более высокой допустимой длительной температуре (зависит от условий прокладки);

- повреждаемость кабелей с изоляцией из СПЭ при протекании токов короткого замыкания (КЗ) в 10–15 раз ниже, чем у кабелей с БПИ, предельная температура кабелей с изоляцией из СПЭ выше, чем у кабелей с БПИ;

- срок службы кабелей с изоляцией из СПЭ превышает 50 лет;

- температура прокладки кабелей с изоляцией из СПЭ без предварительного нагрева до – 20°С;

- условия прокладки кабелей с изоляцией из СПЭ просты, так как данный тип кабелей легче, имеет меньший диаметр, радиус изгиба, в них отсутствует тяжелая свинцовая оболочка в отличие от кабелей с БПИ;

- в кабелях с изоляцией из СПЭ отсутствуют жидкие компоненты изоляции, что уменьшает время и стоимость монтажа;

- при повреждении кабели с изоляцией из СПЭ не создают утечек масла, которые наносят вред окружающей среде;

- кабели с изоляцией из СПЭ имеют более высокие диэлектрические свойства изоляции, чем кабели с БПИ за счет меньшей гигроскопичности конструктивных элементов;

- при прокладке кабелей с изоляцией из СПЭ допустимы изменения уровня кабельной трассы.

Кабель экранированный медный разделяют по назначению:

- силовой;

- комбинированный кабель (силовой и кабель управления);

- контрольный кабель;

- сигнально-блокировочный кабель.

Экран для кабелей изготавливают из алюмополиэтиленовой ленты. К кабелям связи, к которым относятся кабели компьютерной коммутации, применяют повышенные требования. Наибольшее распространение имеют кабели FTP (витая пара). Экран в таких кабелях изготавливается из медной фольги.

**Технико-экономическое обоснование применения  
солнечной электроэнергии в Республике Беларусь**

Катрич А.

Белорусский национальный технический университет

Солнечная энергетика, по многим прогнозам, является одной из самых перспективных отраслей возобновляемой энергетики, ее развитие связано с масштабными программами поддержки возобновляемой энергетики, реализуемыми в развитых странах Европы, США, Японии. По сравнению с другими видами производства электроэнергии за счет возобновляемых источников, солнечная энергетика обладает наибольшим потенциалом долгосрочного роста.

В течение последнего десятилетия на рынке фотовольтаики наблюдался активный рост. Фотовольтаика уже стала полностью конкурентоспособной частью системы электроснабжения в Европейском союзе (ЕС) и с каждым годом все более важной частью энергетического баланса по всему миру.

Проблема солнечных модулей – это хранение энергии. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) в Беларуси вряд ли смогут одинаково эффективно работать как в летнее, так и в зимнее время, к тому же энергия требуется круглосуточно.

Территория Республики Беларусь находится в удовлетворительных пределах показателей инсоляции (облучение поверхностей солнечным светом (солнечной радиацией)).

Основными проблемами при разработке проекта установки солнечных модулей являются:

- выбор оптимального технического решения по рядности расположения фотоэлектрических панелей (1, 2, 3-х рядное)
- выбор пиковой мощности фотоэлектрических панелей (не менее 240 Вт и не более 300 Вт);
- выбор инверторных станций с учетом потерь и схему их соединения;
- расчет установленной пиковой мощности ФЭС с учетом выбора оптимального расстояния между рядами и угла наклона панелей;
- выбора оптимального варианта устройства фундаментов под панели.

Основное влияние на окупаемость проекта установки солнечных модулей оказывает постановление Министерства Экономики Республики Беларусь «О тарифах на электрическую энергию, производимую из возобновляемых источников энергии».

**Алгоритм и компьютерная программа расчета переходного процесса при однократной продольной несимметрии сети**

Махнач Д.Н.

Белорусский национальный технический университет

При расчетах однократной продольной несимметрии электрической сети требуется составлять схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей, в каждую из которых входят те элементы, по которым при заданной несимметрии протекают токи соответствующих последовательностей. Вследствие того, что система токов нулевой последовательности резко отличается от систем токов прямой и обратной последовательностей, в эту схему вводятся только те элементы расчетной схемы, по которым могут протекать токи нулевой последовательности.

При реализации программы в качестве платформы для разработки использовалась среда Microsoft Visual Studio 2013. Программа выполнена на объектно-ориентированном языке программирования C#. С помощью программы на мониторе создается рабочее поле, на котором собирается схема исследуемой системы. Элементы системы (генераторы, трансформаторы и т.п.) выбираются из базы элементов и «перетягиванием» помещаются на рабочее поле. Чтобы выбрать схему соединения обмоток (например, трансформатора), необходимо кликнуть правой кнопкой мыши на элемент и выбрать нужную схему. Каждый элемент схемы имеет по два соединительных узла, при помощи которых этот элемент может соединяться с другими и образовывать нужную расчетную схему системы. Для изображения линий электропередачи сначала необходимо кликнуть левой кнопкой мыши на место, где предположительно будет начало линии. Затем кликнуть на место предполагаемого конца линии. Если полученное соединение нас не устраивает, то его легко можно удалить клавишей Del. Для фиксирования линии необходимо нажать на клавишу Esc. В случае необходимости любой элемент схемы можно поворачивать нажатием клавиши R по часовой стрелке с шагом в 90°. После составления расчетной схемы программа позволяет установить в нужном месте точку продольной несимметрии. В случае правильного выполнения инструкции, при нажатии на клавишу P программа отобразит красным цветом пути протекания токов нулевой последовательности по элементам сети, по которым легко составляется схема замещения нулевой последовательности.

Данная программа существенно облегчит и ускорит процесс расчета токов однократной продольной несимметрии, частично автоматизируя один из этапов расчета, и тем самым уменьшит вероятность ошибок.

Синяк В.С.

Белорусский национальный технический университет

Загрузка генераторов станции, работающих на распределительную сеть, может изменяться от минимально допустимой до номинальной, при этом напряжение сети также может меняться под действием различных факторов. Изменение условий эксплуатации генераторов влияет на его параметры, что приводит к необходимости учета многих факторов при моделировании переходных и установившихся режимов работы синхронных явнополюсных генераторов. Для моделирования синхронных генераторов используется система дифференциальных уравнений Парка-Горева.

$$\begin{cases} u_d = -\frac{1}{\omega_c} p\psi_d - \psi_q(1+s) - R_s i_d; \\ u_q = -\frac{1}{\omega_c} p\psi_q + \psi_d(1+s) - R_s i_q; \\ u_f = \frac{1}{\omega_c} p\psi_f + R_f i_f \\ u_{d_i} = \frac{1}{\omega_c} p\psi_{d_i} + R_{d_i} i_{d_i}, \quad i=0..n_d; \\ u_{q_i} = \frac{1}{\omega_c} p\psi_{q_i} + R_{q_i} i_{q_i}, \quad i=0..n_q; \\ M_T - M_s = \frac{T_J}{\omega_c} p\omega = T_J p s, \end{cases}$$

Учет насыщения позволяет получить более точные значения параметров, характеризующих состояние синхронной машины.

Основной проблемой при моделировании синхронного генератора с учетом насыщения является отсутствие информации о магнитных характеристиках применяемых материалов.

Построение частичных характеристик намагничивания машины, как и методика проектирования явнополюсных синхронных генераторов, основаны на вычислении средних величин магнитной индукции в магнитопроводах отдельных элементов машины.

Зависимости магнитных напряжений элементов машины от соответствующих магнитных потоков можно представить в общем виде:

$$F = k(\Phi) \cdot \Phi.$$

Учет насыщения с использованием частичных характеристик намагничивания позволяет правильно учесть потоки рассеяния обмотки возбуждения синхронного генератора при нагрузке и вычислить значение ее МДС.

**Дифференциальная защита линий 110 кВ и выше  
с применением оптоволоконных линий связи системы ВОЛС**

Тимофеев В.О.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в энергосистеме республики Беларусь большое применение получили микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики, алгоритм функционирования которых (последовательность арифметико-логических преобразований информации, поступающих на вход устройства) реализован с помощью микропроцессорной техники. Эти устройства позволяют с высокой степенью надежности осуществлять защиту энергооборудования, в том числе и линий электропередачи. Возможности микропроцессорных защит очень велики и позволяют учесть особенности аварийных режимов различного рода и характера, но при этом им предъявляются повышенные требования к качеству входного сигнала.

Линии связи на основе медного проводника с экранированием уже не могут обеспечить требуемого качества сигнала, высокой пропускной способности, помехозащищенности. Все эти преимущества имеют оптоволоконные линии связи. Основу такого канала составляет практический световод, представляющий собой волокно из кварцевого стекла с переменным показателем преломления. Волокно составляют жгуты, покрывая сверху пластмассовой оболочкой, а при необходимости броней. Оптоволоконные линии связи прокладывают как в земле, так и на открытом воздухе. Также неотъемлемой частью ВОЛС является электронно-оптический передатчик и оптико-электронный приемник. Электронно-оптический передатчик преобразует электрические сигналы в световые. Передатчик представляет собой лазер (обычно полупроводниковый). Оптико-электронный приемник преобразует световые сигналы в электрические (фотодиод). ВОЛС имеет значительный срок эксплуатации. Со временем, как и другие системы передачи информации, оптическое волокно подвержено деградации, что обусловлено усилением затухания в кабеле. Но процесс увеличения затухания происходит довольно медленно, поэтому срок службы волоконно-оптической линии составляет примерно, около 25 лет, что, при совершенствовании стандартов приемо-передающих систем, является достаточно оптимальным сроком. Целью работы является применение дифференциальной защиты линий 110 кВ и выше на базе терминала типа МР с применением оптоволоконных линий связи системы ВОЛС. Новые решения в энергетике, расширяющие применение ВОЛС, имеют особую актуальность и с технической и с экономической точки зрения.

## **Расчет параметров модели асинхронного двигателя в Matlab-Simulink**

Шеметовец Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Асинхронные электродвигатели (АД) являются основными потребителями электроэнергии на производстве и в системе собственных нужд электрических станций. Аварийные режимы мощных электродвигателей могут сопровождаться большими сверхтоками и вызывать недопустимые снижения напряжения питающей сети. «Посадка» напряжения при пуске двигателя также может отрицательно сказываться на режимах работы других электродвигателей.

В библиотеке Matlab-Simulink имеются примеры АД различных мощностей. Однако наличие примеров не достаточно для исследования АД с другими каталожными данными. Поэтому возникает необходимость в расчете параметров модели АД. Вычисленные параметры, наряду с некоторыми паспортными данными, заносятся в окно задания параметров модели асинхронной машины.

Расчету подлежат параметры элементов схемы замещения (активные сопротивления и индуктивности) и параметры вращающегося магнитного поля АД.

По методике, приведенной в [1], с использованием паспортных данных АД определяются: скорость вращения магнитного поля (синхронная скорость вращения), величина номинального скольжения, номинальная угловая скорость вращения ротора, угловая скорость вращения магнитного поля, номинальный, максимальный и пусковой моменты; критическое скольжение; приведенное и активное сопротивление статора, приведенная индуктивность рассеяния ротора, индуктивность статора, индуктивность контура намагничивания.

### **Литература**

Герман-Галкин, С. Г. Электрические машины : лабораторные работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин, Г. А. Кардонов. – СПб. : КОРОНА принт, 2003. – 256 с., ил.

**Определение оптимальных электрических нагрузок потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками в условиях неопределенности производственной программы**

Иванейчик А.В.  
Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого

Одной из основных характеристик технологического оборудования является характеристика электропотребления, представляющая собой зависимость расхода электроэнергии  $W$  от объема выпускаемой продукции и позволяющая оценивать эффективность электропотребления оборудования. Установлено, что в нестабильных условиях производственной программы, выделяются потребители с кусочно-непрерывными расходными характеристиками. При этом, потребители работают в различных режимах из-за меняющейся производственной программы и технологических факторов, что в свою очередь приводит к работе оборудования со скачкообразно изменяющейся энергоэффективностью. Поэтому, в условиях рыночной экономики, когда объем производства продукции зависит от множества внешних факторов, таких, как спрос на готовую продукцию, наличие сырья на складе и т.д., а потребляемая электроэнергия изменяется в существенных пределах, становятся актуальными задачи определения оптимальных электрических нагрузок в условиях неопределенности производственной программы. Для решения поставленной задачи было сделано:

- был произведен сбор и систематизация суточного количества выпускаемой продукции, режимов электропотребления технологического оборудования, расходных характеристик оборудования и факторов, влияющих на режим электропотребления;
- сформирована информационная база данных;
- определена, с заданной долей вероятности, производственная программа;
- построена математическая модель электропотребления оборудования;
- произведена комплексная оценка эффективности электрических нагрузок оборудования и определены наиболее оптимальные, в зависимости от заданного критерия.

Результаты исследований могут быть использованы для прогнозирования электрических нагрузок на заданном интервале времени, что позволит грамотно и более точно задавать максимальную нагрузку для энергосистемы и рассчитываться с энергоснабжающей организацией за израсходованную электроэнергию без каких-либо штрафных санкций.

## **Способы снижения затрат при строительстве кабельных линий**

Климентионок А.К.

Белорусский национальный технический университет

Одна из главных задач при реализации любого проекта – это снижение затрат при достижении конечного результата. Существующая практика реализации типовых решений в системе распределения электроэнергии зачастую не соответствует правилам эксплуатации, безопасности, а внутреннее пространство кабельных сооружений используется не эффективно. Данные проблемы актуальны как для городских систем электроснабжения (а именно для кабельных каналов и кабельных колодцев, где эффективное заполнение, а также уменьшение габаритов, соответственно и снижение капитальных затрат на строительство приобретает особое значение), так и энергоснабжения промышленных предприятий (кабельные эстакады и каналы).

Данные проблемы приобретают особую актуальность при существующей тенденции роста применения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины во всех отраслях промышленности. На сегодняшний день в Беларуси его используют в 10–15 % случаев, тогда как в Европейских странах, данный показатель уже достигает 90 %.

Российская компания «РУСЭНЕРГО» предлагает инновационные решения при открытой прокладке кабельных линий, отличительной особенностью которых является возможность прокладки кабельных линий в два яруса на одной конструкции. Результаты расчетов и опыт внедрения показывают, что, используя двухуровневую прокладку в тех же габаритах сооружения, появляется возможность увеличить резерв кабельных мест до 50 %, либо существенно уменьшить габариты сооружения одновременно с увеличением резерва кабельных мест. Также появляется возможность установки асбоцементной перегородки без применения каких-либо дополнительных конструкций внутри эстакадной полки, что тем самым обеспечивает возможность организации электроснабжения 2-й и даже 1-й категории.



## Определение токов электродинамической стойкости гибких шин распределительных устройств

<sup>1</sup>Андрукевич А.П., <sup>2</sup>Баран А.Г., <sup>2</sup>Климкович И.П.

<sup>1</sup>ЧПУП «ГарантЭнергоПроект»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

С помощью компьютерной программы FleBus выполнен вычислительный эксперимент определения токов электродинамической стойкости 9 пролетов с одним проводом в фазе длиной от 20 до 60 м с шагом 5 м распределительных устройств 110–330 кВ исходя из условия максимально допустимого сближения фаз. Расчеты выполнены для проводов АС-185/29, АС-500/27 и АС-800/105 с гирляндами изоляторов 9×ПС 6А, 16×ПС 6А и 22×ПС 6А (таблица). Минимально допустимые междуфазные расстояния приняты согласно ПУЭ. Влияние гибкости порталов не учитывалось. Анализ показывает, что для пролетов с междуфазным расстоянием более чем в два раза превышающим стрелу провеса, опасное сближение фаз не наступает.

Токи электродинамической стойкости гибких шин, кА

Время КЗ, с	Длина пролета, м								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Провод АС-185/29									
0,1	–	33,4	27,2	27,2	25,4	43,0	45,8	49,4	37,0
0,2	20,9	29,2	23,5	22,7	20,9	35,8	38,8	42,1	32,2
0,3	–	26,9	21,8	20,1	18,4	31,5	34,8	37,9	27,3
0,4	–	17,0	12,6	18,4	16,7	29,8	32,7	35,6	25,6
0,5	17,6	15,8	11,2	17,3	15,5	28,1	31,7	35,2	25,2
Провод АС-500/27									
0,1	–	36,6	33,5	46,7	30,6	54,4	54,7	51,4	39,5
0,2	–	31,1	27,9	27,5	25,0	45,2	44,2	43,4	33,2
0,3	39,7	29,1	25,7	23,5	22,1	40,8	40,0	38,3	29,0
0,4	–	28,1	24,4	21,2	20,0	37,5	36,5	34,5	27,2
0,5	–	–	24,5	19,8	18,6	35,7	34,0	32,1	24,8
Провод АС-800/105									
0,1	–	47,6	–	58,1	42,5	94,8	89,3	84,9	80,3
0,2	–	40,1	39,0	48,3	34,7	77,9	73,7	70,3	65,7
0,3	–	37,6	36,3	44,5	30,8	73,1	67,6	63,9	59,3
0,4	–	37,4	35,2	42,3	28,2	45,2	65,0	60,6	55,2
0,5	–	–	24,9	41,9	26,6	41,6	39,7	38,0	52,8

**Оценка потерь электроэнергии в электрических сетях**

Жежеленко И.В.

Приазовский государственный технический университет

Мариуполь, Украина

Значения относительных потерь электроэнергии в электрических сетях промышленно развитых стран мира находятся в пределах 4-6%. Эти страны характеризуются высоким значением внутреннего валового продукта (ВВП) по паритету покупательной способности (ППС) на душу населения, превышающим 50 тыс. долларов США. В то же время в странах с ВВП по ППС менее 10 тыс. долларов США относительные потери выше – в Молдове, России, Албании, Польше, Украине относительные потери равны или превышают 20%. В Украине значение ВВП в 2015-2016 годах составило 8500 долларов США. Следовательно, имеет место связь между уровнями потерь электроэнергии в электрических сетях различных стран как с особенностями электрических сетей и их режимами, так и с экономикой этих стран. Очевидно, что в странах с более развитой экономикой выше, как правило, техническая культура производства, используются более современные системы управления режимами работы электрических сетей, контроля и учета электроэнергии, четкая нормативная база и система тарифного регулирования. Однако, простое сравнение относительных потерь электроэнергии в электрических сетях Украины и зарубежных электрических сетях без анализа этих потерь в сопоставимых условиях работы некорректно.

Для оценки значения ежегодных финансовых затрат прибегнем к экспертной оценке. Современное потребление электроэнергии в мире составляет примерно 20 триллионов кВт·ч, потери электроэнергии от несоблюдения требований к качеству электрической энергии оцениваются величиной в 500 млрд. долларов США, среднее значение тарифа на электроэнергию 0,1 долл./кВт·ч. Удельный ущерб от низкого качества электроэнергии составляет

$$500 \cdot 10^9 / 20 \cdot 10^{12} = 0,025 \text{ долл./кВт·ч.}$$

Выработка электроэнергии в Украине в 2016 г. составила 154,82 млрд. кВт·ч, стоимость потерь

$$154,82 \cdot 0,025 = 3,9 \text{ млрд. долл./кВт·ч.}$$

Таким образом, оценочная стоимость потерь электроэнергии в 2016 году в Украине составила примерно 4 млрд. долларов.

## Аналитические критерии оптимального функционирования городских электрических сетей

Фурсанов М.И.

Белорусский национальный технический университет

Предложенные и сформулированные определения и требования к построению и характеристики интеллектуальных городских распределительных электрических сетей показывают, что SMART GRID представляет собой систему нового поколения, позволяющую оперативно и в автоматическом режиме реагировать и осуществлять регулирование всех топологических и режимных параметров электрических сетей и осуществлять бесперебойное электроснабжение потребителей с максимальной экономической эффективностью при снижении влияния человеческого фактора. Это означает, что сеть построена и функционирует идеально:

- топологические и режимные характеристики сетей (проводников, трансформаторов, коммутационных аппаратов, нагрузки, токи, потоки, потери) полностью соответствуют друг другу, что обеспечивает оптимальную структуру и режимы электрических сетей (стоимость передачи электрической энергии в этом случае будет оптимальной);
- управление нормальными, аварийными и послеаварийными режимами сетей осуществляется автоматически;
- кардинальные отклонения от созданных желаемых режимов электрических сетей быть не могут.

Это означает, что управление режимами городских электрических сетей в условиях SMART GRID по сравнению с традиционным пониманием и подходами должно быть абсолютно противоположным. В существующих подходах считается, что фактическое состояние сети не является совершенным и требует постоянного улучшения. При SMART GRID сеть является «идеальной» и управление её режимами должно осуществляться только в случае отклонения созданных эксплуатационных режимов электрических сетей от оптимальных. Это требует совершенно не традиционных аналитических критериев и подходов к оценке, анализу и управлению режимами городских электрических сетей в рамках ЗМАКТ СКГО.

В качестве аналитических критериев должны применяться только оптимальные режимные показатели (такие, как, например, минимальный технологический расход электроэнергии или экономически обоснованные значения стоимости передачи электрической энергии) и аналитически обоснованные (выбранные и рекомендуемые) действия и мероприятия по поддержанию интеллектуальных режимов работы городских электрических сетей энергосистем.

## **Мероприятия по снижению потерь электроэнергии и оценка эффективности мероприятий**

Кохан О.С.

Научный руководитель: д-р.техн.наук, профессор Фурсанов М.И.  
Белорусский национальный технический университет

Несмотря на то, что понятие «мероприятие по снижению потерь электроэнергии» кажется ясным без особых разъяснений, необходимо все же конкретизировать, какие действия, направленные на снижение потерь, можно отнести к мероприятиям. Приведем три обязательных условия, при которых действие, направленное на снижение потерь, можно считать мероприятием по их снижению.

Кроме условий, при которых действие, направленное на снижение потерь, можно считать мероприятием по снижению потерь, необходимо отметить и условия, при которых их можно включать в нормативный документ, устанавливающий отчетность об их проведении. Условием же включения мероприятия в перечень отчетных является, во-первых, наличие способа четкой количественной оценки его воздействия на потери, а во-вторых, хоть какая-то предварительная оценка его весомости. Эффективность мероприятий может оцениваться только в виде экономии киловатт-часов. Если способ количественной оценки отсутствует, такое мероприятие не должно содержаться в нормативном документе, устанавливающем отчетность об их проведении.

Собственно же мероприятиями по снижению потерь являются практические действия, приводящие к реальному снижению потерь.

Исходя из особенностей получения эффекта, мероприятия могут быть разделены на следующие четыре группы:

мероприятия по улучшению режимов работы электрических сетей;

мероприятия по реконструкции электрических сетей, осуществляемые с целью снижения потерь;

мероприятия по совершенствованию системы учета электроэнергии;

мероприятия по снижению хищений электроэнергии.

В заключении отметим следующее: для достижения значительного снижения потерь электроэнергии необходимо внедрять эффективные технические мероприятия, требующие значительных материальных средств. Одними организационными мероприятиями, даже при очень грамотном их использовании потери электроэнергии не снизить до желаемой величины.

**Управление суточными графиками нагрузки ЭЭС методом  
массированной адаптации электротермических процессов**

Петруша Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Развитие энергетики сдерживается несколькими фундаментальными ограничениями:

- исчерпаемость запасов органического топлива и усиление требований экологической безопасности сжигания углеводородов;
- недостаточная маневренность АЭС, как единственной альтернативы традиционных ТЭС;
- архаичность технологий теплофикации (вынужденный график выработки электроэнергии на ТЭЦ, неоправданные потери при транспортировке и распределении, низкая управляемость потоков и параметров теплоносителя, фундаментальные недостатки автоматизации и коммерческого учета);
- отсутствие технологий аккумулирования в масштабах энергосистемы.

Представляется полезным рассмотреть концепцию реформирования отрасли, направленного на поэтапное изменение структуры генерации (сокращение доли ТЭЦ и увеличение доли АЭС в балансе выработки электроэнергии) и потребления (создание мощных электротепловых, перевод бойлеров ЖКХ на электронагрев, массовое использование электроотопления) электроэнергии.

Масштабы и этапы подобного реформирования определяются:

- соотношением избыточности мощности АЭС в период минимальных нагрузок ЭЭС и потенциалом суточного регулирования;
- стратегией развития системообразующей и распределительной сетей;
- соотношением себестоимостей выработки и отпускных тарифов 1 Дж тепловой и электрической энергии;

требованиями технологической управляемости режимами ЭЭС и экономической целесообразностью.

Инерционность тепловых процессов из технологического недостатка может превратиться в принципиально новый способ компенсации текущих колебаний нагрузки ЭЭС за счет изменения мощности потребления электронагревательных элементов и теплоэнергетических объектов.

Предлагаемые изменения имеют чисто организационный характер, базируются на хорошо отработанных технологиях управления и использования электроэнергии и направлены на совершенствование отрасли с учетом существующих тенденций и стратегии развития.

**Оптимизация режима основной сети энергосистемы по напряжению и реактивной мощности усовершенствованным методом**

Прокопенко В.Г., Печко А.С.

Белорусский национальный технический университет

Для решения задачи оптимизации режимов основных сетей энергосистем по напряжению и реактивной мощности разработан усовершенствованный пошаговый метод, который на каждом шаге оптимизационного процесса позволяет сравнивать снижение потерь активной мощности в расчетной схеме сети достигнутое от изменения коэффициента трансформации автотрансформатора связи в наибольшей степени уменьшившего потери мощности и снижение потерь от изменения реактивной мощности источника(ов) также в наибольшей степени уменьшающих потери активной мощности. На основе сравнения величин снижения потерь выбирается переменная, которую целесообразно изменить на оптимизационном шаге, она вносится в модель расчетной схемы сети и расчет повторяется.

Для выбора оптимальных величин коэффициентов трансформации и реактивных мощностей источников использован пошаговый оптимизационный метод с анализом предыстории. Значение реактивной мощности источника(ов) подбирается таким образом, чтобы суммарное изменение напряжений узлов схемы сети было бы таким же, как и при изменении коэффициента трансформации. Для этой цели используются матрицы чувствительности узлов расчетной схемы сети по напряжению.

С применением усовершенствованного метода был проведен оптимизационный расчет для замкнутой схемы сети со следующими параметрами: номинальные напряжения 330, 220 и 110 кВ, число узлов - 26, суммарная протяженность линий - 1356 км, суммарная нагрузка потребителей - 1048+j462 МВ·А, генерация активной и реактивной мощности в 4 узлах, количество автотрансформаторов с РПН - 5.

В результате расчетов оказалось, что к наибольшему снижению потерь мощности в схеме сети привело изменение реактивной мощности только лишь одного источника. Потери мощности снизились на 1,44 МВт. Дальнейшее изменение переменных приводило к нарушению ограничений по величинам напряжений узлов. Все другие решения приводили к меньшему снижению потерь активной мощности.

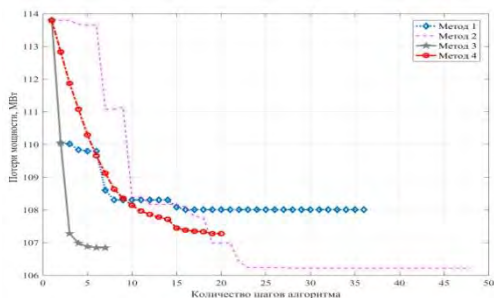
Усовершенствованный метод полностью формализован и может быть реализован на ЭВМ.

## Исследование дискретных методов оптимизации режимов электрических сетей по напряжению и реактивной мощности

Золотой А.А., Секацкий Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Недостатком оптимизации режимов электрических сетей методом по-координатного спуска (МПС), является существенная зависимость результатов от выбранного порядка оптимизируемых переменных. Авторами выполнены расчёты оптимальных по напряжению и реактивной мощности режимов схемы сети 110-750 кВ, включающей 69 узлов, 67 линий и 24 автотрансформатора. Переменными задачи являлись 11 автотрансформаторов связи. Результаты оптимизации представлены на рисунке



Оптимизация потерь активной мощности в схеме

Расчёты оптимальных режимов выполнялись: МПС (Метод 1, на рисунке), МПС с предварительной сортировкой переменных (Метод 2), одношаговым (Метод 3) и многошаговым (Метод 4) методами с анализом предыстории.

Лучшие результаты были достигнуты при использовании МПС с предварительной сортировкой переменных (Метод 2 на рис. 1). Потери активной мощности в схеме за 48 шагов удалось снизить на 7,0 %.

Одношаговый и многошаговый методы, использующие анализ предыстории изменения переменных оптимизации, показали неплохие результаты – снижение потерь на 6,6 % за 7 шагов одношаговым и на 6,1 % за 20 шагов многошаговым методом.

Классический МПС за 36 шагов снизил потери на 5,1 %.

Анализ результатов оптимизации схемы четырьмя методами показал высокую эффективность очень простой модификации метода покоординатного спуска. При этом следует отметить малую трудоёмкость шагов классического и модифицированного методов.

## Определение поврежденной фазы в распределительной электрической сети

Калентионюк Е.В., Мазурек Ю.А.  
Белорусский национальный технический университет

Электрические сети напряжением 6-35 кВ в белорусской энергосистеме работают в большинстве случаев с изолированным режимом работы нейтрали.

При однофазном повреждении аварийного отключения поврежденного фидера не происходит, а линейные напряжения остаются такими же как и до повреждения.

Замыкание фазы на землю могут привести к следующим неприятным последствиям:

- *перенапряжения*, которые могут приводить к пробое изоляции неповрежденных фаз и переходу ОЗЗ в двойное замыкание на землю;
- возможны явления *феррорезонанса*;
- на воздушных линиях ОЗЗ часто происходит при обрыве провода с падением его на землю – это создает опасность *поражения людей и животных электрическим*;
- если ОЗЗ длительно не отключается, существенно повышается *вероятность возникновения пожаров*, например, в ячейках КРУ, из-за возникновения дуги в месте ОЗЗ;

Поиск поврежденного присоединения при ОЗЗ часто ведётся методом поочередного отключения присоединений.

Для выявления поврежденной фазы режимы ОЗЗ исследовались с помощью системы динамического моделирования Simulink, которая является составной частью программного комплекса Matlab. Расчет аварийных режимов производился с учетом влияния переходного сопротивления в месте повреждения.

По результатам исследования можно сформулировать общее правило определения поврежденной фазы: поврежденной является фаза, если угол сдвига фаз между симметричными составляющими напряжений прямой и нулевой последовательностей фаз больше  $90^\circ$ , но меньше  $270^\circ$ , на отстающей фазе больше  $270^\circ$ , но меньше  $360^\circ$ , на опережающей фазе больше  $0^\circ$ , но меньше  $90^\circ$ ; или угол больше  $270^\circ$ , но меньше  $90^\circ$ , на отстающей фазе больше  $90^\circ$ , но меньше  $180^\circ$ , на опережающей фазе больше  $180^\circ$ , но меньше  $270^\circ$ .



## Определение надежности сложных схем электрических соединений подстанций

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Современная электрическая понижающая подстанция представляет собой сложный электрический комплекс, предназначенный для преобразования электрической энергии и состоящий, как правило, из нескольких распределительных устройств разных классов напряжения.

Расчет надежности сложных схем электрических соединений понижающих подстанций выполним с помощью программы «ТОPAS». Пакет прикладных программ «ТОPAS» позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений. Результаты расчета сложных схем электрических соединений подстанций при полном погашении схемы представлены в таблице

Результаты расчета надежности сложных схем электрических соединений подстанций при полном погашении схемы

Название схемы	Частота отказа $\lambda_{сум}$ , 1/год	Время послеаварийного восстановления $T_{в}$ , ч	Коэффициент неготовности, $K_{шт}$ , о.е.
Полуторная схема	$0,378 \cdot 10^{-6}$	0,5	$2,158 \cdot 10^{-11}$
Трансформаторы – шины с полуторным присоединением линий	$0,228 \cdot 10^{-5}$	0,5	$1,3 \cdot 10^{-10}$
Одна секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через «полуторную» цепочку	$0,592 \cdot 10^{-4}$	0,5	$3,3789 \cdot 10^{-9}$
Трансформаторы-шины с присоединением линий через два выключателя	$0,301 \cdot 10^{-3}$	0,5	$1,718 \cdot 10^{-8}$
Шестиугольник	$0,578 \cdot 10^{-3}$	0,5	$3,299 \cdot 10^{-8}$
Две несекционированные системы шин	$0,109 \cdot 10^{-1}$	0,68	$8,461 \cdot 10^{-7}$
Одна секционированная система шин	$0,106 \cdot 10^{-1}$	0,73	$8,833 \cdot 10^{-7}$

## **Определение поврежденного участка распределительной электрической сети**

Калентионюк Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В условиях эксплуатации распределительных электрических сетей для определения поврежденного участка в линии напряжением 6-10 кВ, в основном, используется метод оперативных переключений коммутационных аппаратов путем переезда оперативно-выездной бригады. Данный методический подход к определению поврежденного участка приводит к большой длительности перерыва электроснабжения потребителей, срабатывания ресурса коммутационных аппаратов и значительным транспортным и трудовым затратам электрических сетей.

Уменьшение времени определения поврежденного участка может быть достигнуто путем использования дистанционных методов определения места и зоны повреждения на линии электропередачи. Для распределительных электрических сетей наиболее перспективными являются методы, основанные на измерении и фиксации параметров аварийного режима в момент короткого замыкания и знаний параметров линий электропередачи. Однако дистанционные методы не позволяют определить точно расстояние до места повреждения, а значить и поврежденный участок линии электропередачи.

Повышение точности и быстродействия определения поврежденного участка возможно при дополнительном применении топографических средств на линиях электропередачи. При автоматизации распределительных электрических сетей наиболее перспективным является применение стационарных индикаторов короткого замыкания и однофазного замыкания на землю с токами срабатывания на уровне 0,5 А. Это позволяет индикаторам уверенно определять однофазные повреждения без принятия каких-либо мер по увеличению токов нулевой последовательности.

Децентрализованное автоматическое управление коммутационными аппаратами для определения поврежденного участка может быть реализовано в электрических сетях, питающий потребителей I и II категорий по надежности электроснабжения, пусковыми факторами которого является изменение величины тока или отсутствия (наличия) напряжения на контролируемом участке сети.

## Эффективность эксплуатации трансформаторов распределительных сетей после истечения срока их службы

Третьяк И.О.

Белорусский национальный технический университет

Необходимо технико-экономическое обоснование эффективности продолжения эксплуатации или замены функционирующих трансформаторов старше 25 лет на новые. Для каждого конкретного трансформатора требуется индивидуальный подход из-за различных условий эксплуатации.

Целесообразность замены силовых трансформаторов распределительных сетей после истечения срока их службы на новые запишем в виде критерия минимума срока окупаемости:

$$\min T_{ок} = \frac{K_1 - K_2}{I_2 - I_1} = t \quad (1)$$

Значения  $I_1$  и  $I_2$  определяются как:

$$I_1 = p_a \cdot K_1 + I_{m1} + I_{o1} + \Delta P_{x1} \cdot T \cdot \beta + \Delta P_{кз} \cdot \kappa_3^2 \cdot \tau \cdot \beta; \quad (2)$$

$$I_2 = I_{к2} + I_{m2} + I_{o2} + (1 + \kappa \cdot t) \cdot \beta \cdot (\Delta P_{x2} \cdot T + \Delta P_{кз} \cdot \kappa_3^2 \cdot \tau) - \sum_0^t E \cdot K_1 \cdot (1 + E)^t + Y_a, \quad (3)$$

Обозначим

$$\frac{I_{к2}}{I_{к1}} = \alpha_k; \quad \frac{I_{m2} + I_{o2}}{I_{m1} + I_{o1}} = \alpha_m.$$

Тогда, с учетом того, что

$$I_{к1} = p_k \cdot K_1, \\ (I_{m1} + I_{o1}) = p_m \cdot K_1,$$

подставив значения  $I_1$  и  $I_2$  из выражений (2) и (3) в формулу (1) после некоторых упрощений получим

$$f(t) = \kappa \cdot t^2 \cdot \beta \cdot (\Delta P_{x2} \cdot T + \Delta P_{кз} \cdot \kappa_3^2 \cdot \tau) + [\alpha_k \cdot p_k \cdot K_1 + K_1 (p_m (\alpha_m - 1) - p_a) + T \cdot \beta \cdot \Delta P_x - \sum_0^t E \cdot K_1 \cdot (1 + E)^t + \alpha_1 \cdot K_1] \cdot t - K_1 = 0 \quad (4)$$

Данное нелинейное уравнение наиболее просто решается методом простых итераций, где на каждом шаге мы будем подставлять вместо  $t$  целые числа.

Расчеты, выполненные по (7), показали, что замену трансформатора мощностью 250 кВ·А необходимо проводить на 3 год работы после истечения срока службы.

## **Трансформаторы тока на цифровых подстанциях**

Сергейчук И.М., Новиков С.О.

Белорусский национальный технический университет

Цифровая подстанция – подстанция, в которой организация всех потоков информации при решении задач управления, анализа и мониторинга осуществляется в цифровом формате.

Основными датчиками позволяющими следить за уровнем тока на цифровой подстанции являются оптические трансформаторы тока (ОТТ), которые измеряют значение тока и в цифровом формате и передают его на сервер.

ОТТ обладают рядом преимуществ перед традиционными трансформаторами тока (ТТ):

- отсутствие медных вторичных цепей, снижение затрат на материалы и монтаж.

- отсутствие наводок и помех во вторичных цепях вследствие их естественной гальванической изоляции.

- возможность подключения большого количества потребителей измерительной информации.

- высокая точность измерений при малых и больших токах.

- повышение безопасности персонала при работе во вторичных цепях.

- возможность измерения как переменного так и постоянного тока и т.д.

Согласно использованию оперативного тока ОТТ разделяются:

- активные электронные трансформаторы;

- сухие, пассивные электронные трансформаторы.

Применяются на напряжение до 750 кВ. и первичный ток до 300 кА.

Да данный момент по технико-экономическим соображениям ОТТ целесообразно применять на напряжение 110 кВ и выше.

Так как технологический прогресс движется вперед, наблюдается переход от аналогового оборудования к цифровому – более точному и с рядом своих преимуществ, то в настоящий момент ОТТ являются актуальным решением для цифровой подстанции.

## Сравнительная характеристика методов расчёта надёжности энергосистем

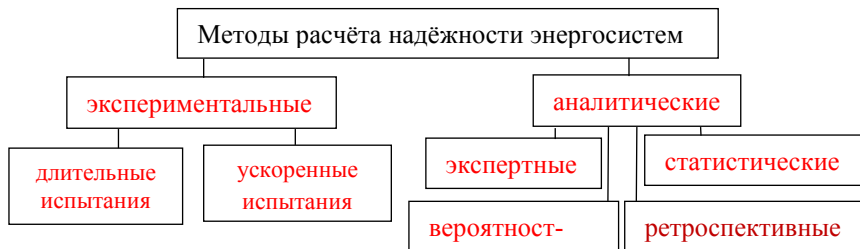
Юршо Е.Л.

Белорусский национальный технический университет

Существует множество разнообразных методов для расчёта и оценки надёжности энергосистем. Выбор определённого метода зависит от:

- 1) полноты исходной информации;
- 2) периода времени, для которого производится расчёт;
- 3) расчётной схемы и способов её преобразования;
- 4) вычисляемых показателей надёжности;
- 5) требуемой степени точности расчётов.

В основном выделяют два больших класса методов (рисунок): а) экспериментальные, основанные на оценке надёжности по результатам испытаний, проводимых на реальных объектах или физических моделях; б) расчётные, применяемые для определения численных показателей надёжности объекта исследования и составляющих его элементов.



Классификация методов расчёта надёжности энергосистем

К экспериментальным методам относятся: метод длительных и ускоренных испытаний. К расчётным (аналитическим) методам относятся: ретроспективные, экспертные, вероятностные и статистические методы

Анализируя принципы применения всех вышеперечисленных методов, можно сделать вывод, что экспериментальная группа методов, вследствие дороговизны и зачастую неприемлемой длительности испытаний, применяется чаще всего в своей крайней форме – анализа опыта эксплуатации, который позволяет получить статистические данные по объекту, которые используются как основа для реализации расчётных методов. Аналитические методы, а в частности, вероятностные и статистические, позволяют получить более полную, а иногда и более точную информацию об исследуемом объекте, но более сложны и трудоёмки в реализации.

**Современные технологии в учебном процессе по дисциплинам  
«Математическое моделирование в энергетике»  
и «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических  
системах»**

Волков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Концепция информатизации системы образования Республики Беларусь на период до 2020 года определяет следующие основные направления развития: формирование образовательной среды на базе «облачных» технологий; модернизация технической инфраструктуры информатизации системы образования; разработка электронных образовательных ресурсов системы образования; обеспечение сетевого взаимодействия участников образовательного процесса.

Лаборатории кафедры «Электрические системы» Белорусского национального технического университета оснащены современной видеопроекционной техникой и компьютерами, что позволяет широко использовать в обучении электронные образовательные ресурсы. В рамках организации обучения по дисциплинам «Математическое моделирование в энергетике» и «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах» разработаны и постоянно совершенствуются:

- электронные конспекты лекций по отдельным темам;
- системы тестов для оценки успеваемости по пройденным разделам дисциплин. При этом разработаны как простейшие линейные тесты, так и адаптивные, содержащие интеллектуальную настройку;
- ресурсы для контроля и оценки выполнения практических задач;
- программа расчета режимов электрических сетей, которая расположена на сервере и доступ, к которой возможен с любого компьютера, ноутбука и даже мобильного телефона;
- электронные таблицы Google для организационных целей, например, для планирования консультаций вне сетки аудиторных занятий.

В настоящее время существует значительное число систем для организации электронного обучения как коммерческих, так и свободно распространяемых. Одной из таких систем является Moodle (модульная объектно-ориентированная учебная среда). Данная система позволяет предоставлять учебную информацию, используя интерактивные и мультимедийные элементы, организовывать тестирование, выдавать студентам задания для самостоятельной работы, проводить консультации. Система Moodle представляется достаточно удобной для работы и поэтому на базе данной платформы сейчас подготавливаются курсы по читаемым дисциплинам.

## **Подстанция глубокого ввода: особенности и основные характеристики**

Баранова Д.В., Новиков С.О.

Белорусский национальный технический университет

Объектом, на который направлена исследовательская деятельность, является подстанция глубокого ввода. 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.

Наибольшие трудности представляет первая категория, поскольку именно на этом этапе решается вопрос о целесообразности сооружения такой подстанции. 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.

Если обобщить ответы на приведенные вопросы, то 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 и, разумеется, в условиях экономического достатка, поскольку возведение такой подстанции может оказаться на порядок затратнее сооружения традиционных электрических сетей.

### **Литература**

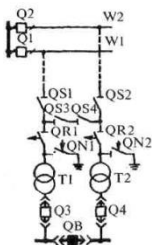
Герасименко А. А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск : Издательские проекты, 2006. – 720 с.

## Лабораторная модель микроконтроллерного АПВ

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим порядок построения прототипа системы управления с использование средств комплекса CoDeSys и комплекса клиента Matrikon OPC Explorer. В комплексе CoDeSys посредником между средой разработки и ПЛК служит специальное приложение — шлюз связи. По умолчанию шлюз связи настроен на локальную работу и запускается автоматически при установлении связи с ПЛК из интегрированной среды [1].



На двух трансформаторных подстанциях применяется схема двух блоков трансформатор — линия, которые для большей гибкости соединены неавтоматической перемычкой из двух разъединителей QS3, QS4. В нормальном режиме один из разъединителей перемычки должен быть отключен. Если этого не сделать, при КЗ в любой линии (W1 или W2) релейной защитой отключаются обе линии, нарушая электроснабжение всех подстанций, присоединенных к этим линиям. Перемычка из двух разъединителей используется при отключениях линий. При устойчивом повреждении на линии W1 отключаются Q1, Q3, и действием АВР на нижней стороне включается секционный выключатель QB, обеспечивая питание потребителей от T2. Если линия выводится в ремонт, действиями дежурного персонала подстанции или оперативной выездной бригады отключается линейный разъединитель QS1, включается разъединитель в перемычке и трансформатор T1 ставится под нагрузку включением выключателя со стороны НН (Q3) с последующим отключением секционного выключателя. Для реализации АПВ, на языке LD написана программа, реализующая действия автоматики для различных случаев повреждений выключателя Q3. Управление этими состояниями выполняется из среды Matrikon OPC Explorer. Лабораторная модель позволяет студенту в реальном времени ознакомиться с работой программного комплекса CoDeSys, настройкой параметров OPC сервера и передачей информации по каналам связи.

### Литература

Новиков С.О. Обмен данными через OPC сервер CoDeSys V2.3/С.О. Новиков, И.С Новиков/4 МНТК «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении», – Минск, БНТУ, МИНСКЭКС-ПО, 2016 – стр. 122.



## Расчет интервалов параметров воздушных линий электропередач

Дуль И.И., Фурсанов М.И.  
 РУП «Белэнергосетьпроект»

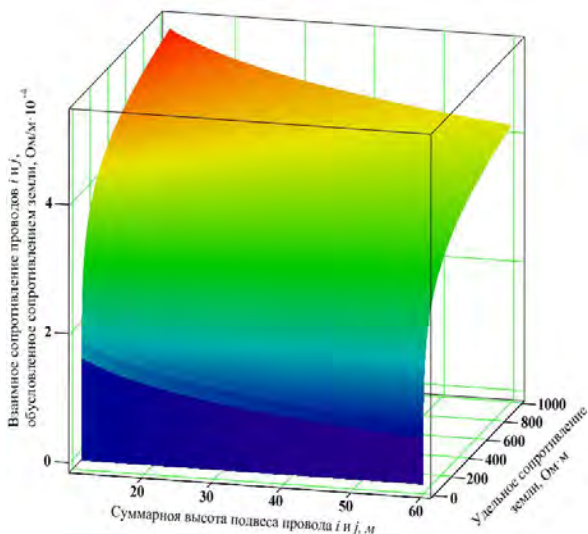
Белорусский национальный технический университет

В докладе предложен метод расчета интервалов параметров воздушных линий электропередач. Предлагаемый метод разработан на основе численных методов интегрирования и предусматривает наиболее точные формулы расчета собственных и взаимных сопротивлений проводов линии. Метод предназначен для оценки интервалов в которых гарантированно окажется значение параметра линии при произвольной вариации влияющих факторов в заданных интервалах.

В предлагаемом методе предусмотрен учет следующих факторов, влияющих на вариацию параметров линий:

- взаимное расположение и высота подвеса проводов и грозозащитных тросов на линии;
- конструкция проводов и электрическое сопротивление материалов;
- удельное сопротивление земли;
- температура окружающей среды;
- частота рассматриваемой гармоника.

В докладе представлены выдержки выполненного анализа значений функций для расчета параметров линий. Особое внимание уделено анализу значений интеграла Карсона (рисунок).



Вариация мнимых значений интеграла Карсона

## Расчет и анализ оперативных потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38-10 кВ

Золотой А.А., Макаревич В.В.

Разработана методика оперативного расчёта потерь электроэнергии, позволяющая определять потери в электрических сетях 0,38 кВ на основе режимной информации сетей 10 кВ. В соответствии с разработанной авторами методикой для выполнения оперативных расчётов технических потерь электрическую сеть 0,38-10 кВ (рисунок) в расчётном периоде необходимо представлять в виде совокупности **пофазных** схем замещения.

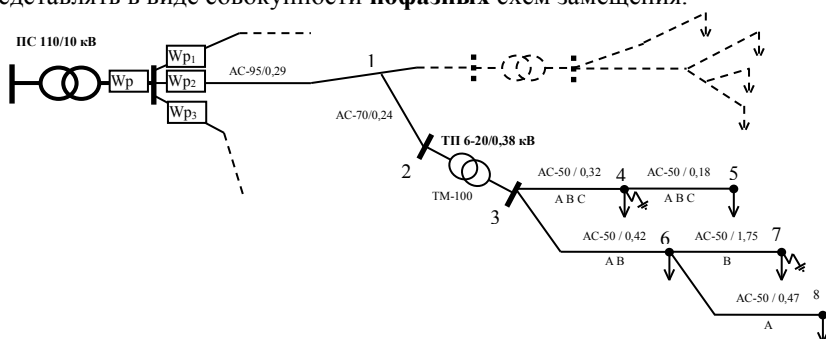


Схема электрической сети 0,38-10

Укрупнённый структурный алгоритм оперативных расчётов технических потерь в сетях 0,38-10 кВ по разработанной методике приведен ниже.

1. Определяются активные и реактивные мощности нагрузки  $n$ -х потребителей схем замещения за  $k$ -й час расчётного периода.
2. Определяются средние значения фазных токов нагрузки  $n$ -х потребителей электрической сети 0,38 кВ за  $k$ -й час расчётного периода.
3. Определяются токи в фазных проводах ветвей схем замещения РЛ 0,38 -10 кВ.
4. Вычисляются фазные токи на стороне высокого напряжения трансформаторов 6-10 кВ.
5. Определяются токи в нулевых проводах с учётом повторных заземлений.
6. Рассчитываются нагрузочные потери активной мощности в фазных и нулевых проводах.
7. Рассчитываются технические потери электроэнергии в схеме замещения РЛ 0,38-10 кВ в расчётном периоде.

Предложенная методика позволяет повысить точность определения потерь электроэнергии в сетях 6 -10 кВ за счёт более точного распределения нагрузок между трансформаторами ТП, по сравнению с традиционным распределением нагрузки ЦП пропорционально установленным мощностям трансформаторов ТП.

## Программный комплекс мониторинга состояния силового трансформатора

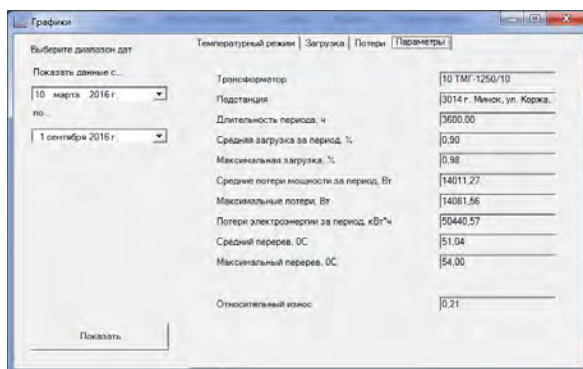
Петрашевич Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Распределительные масляные трансформаторы имеют значительный удельный вес в общем объёме трансформаторного парка Республики Беларусь, а достаточно продолжительный опыт эксплуатации вышеуказанных трансформаторов позволяет говорить о статистических закономерностях на достаточно длинном временном интервале и прогнозировать состояние трансформаторов в будущем.

Для потребительских трансформаторов распределительных сетей важнейшим параметром, характеризующим их состояние и эффективность, являются значения потерь мощности как нагруженных, так и холостого хода. Точное определение названных величин способствует обоснованному выбору оптимизационных мероприятий.

В соответствии с вышесказанным, был разработан программный комплекс для автоматизации процесса сбора и анализа информации о величине потерь мощности в силовых трансформаторах. Эта информация позволяет оперативно реагировать на изменения структуры электропотребления и планировать оптимизационные мероприятия, такие как ремонт или замена трансформатора. Основным параметром мониторинга выступает температура трансформатора. Предполагаемые пользователи системы – диспетчерский персонал промышленных предприятий и предприятий электрических сетей.



Интерфейс окна результатов расчёта

**Оценка эффективности оптимизационных мероприятий**

Царевич Е.Н., Рудак Д.В., Петрашевич Н.С.  
Белорусский национальный технический университет

Оптимизация режимов работы электроэнергетической системы – сложная многоуровневая задача. К её решению необходимо подходить комплексно на всех иерархических уровнях ЭЭС.

Оптимальный режим энергосистемы – это такой режим из допустимых, т. е. удовлетворяющих условиям надежности и качества электроэнергии, при котором обеспечивается минимум затрат при заданной в каждый момент времени нагрузке потребителей.

Все мероприятия подразделяются на три группы:

1. Организационные, к которым относятся мероприятия по совершенствованию эксплуатационного обслуживания электрических сетей и оптимизации их схем и режимов. Эти меры являются практически без затратными.

2. Технические мероприятия, направленные на реконструкцию, модернизацию и строительство сетей. Эти мероприятия требуют дополнительных капитальных вложений.

3. Мероприятия по совершенствованию учета электроэнергии, которые могут быть без затратными и затратными.

Для без затратных мероприятий эффект выражается размером снижения потерь электроэнергии или соответствующего ему снижение затрат. При оценке эффективности технических мероприятий необходимо дополнительно учитывать и необходимые капиталовложения. Были определены для энергетики предельное значение срока окупаемости капиталовложений, равное 8,3 года. Тогда эффективность технических мероприятий может быть определена по выражению:

$$T_0 = \frac{K}{W \cdot Z_E - (P_a - P_o) \cdot K} \leq 8,3$$

где  $P_a$ ,  $P_o$  - нормативы ежегодных отчислений от капиталовложений на амортизацию и обслуживание оборудования, кВт;

$K$  - капитальные вложения, связанные с мероприятием, тыс.руб;

$Z_E$  - удельные затраты на электроэнергию, тыс.руб.

**Эффективность применения кабелей напряжением 6-110 кВ  
с изоляцией из сшитого полиэтилена**

Короткевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Оценка целесообразности применения кабелей напряжений 6-110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелями на то же напряжение с бумажно-масляной изоляцией выполнено на основе метода многоцелевой оптимизации, позволяющий учесть не только количественные (приведенные затраты), но и качественные показатели.

При этом сравнивались между собой кабели различных конструктивных исполнения и материала изоляции: трехжильные с бумажной изоляцией и трехжильные с изоляцией из сшитого полиэтилена; трехжильные с бумажной изоляцией и одножильные с изоляцией из сшитого полиэтилена; одножильные маслонаполненные кабели напряжением 110 кВ с бумажной изоляцией и одножильные кабели напряжением 110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. В качестве показателей надежности работы кабельной линии, принята максимальная наработка на отказ (значение обратно пропорциональное параметру потока отказов), которое у кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена на порядок больше, чем у кабельных линий с бумажной изоляцией. Комплексная оценка удобства монтажа кабельной линии, показала, что монтаж кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена отличается большим в 1,2 -1,6 раза удобством монтажа по сравнению с трехжильными (на напряжение 10 кВ) и в 1,4 раза по сравнению с одножильными маслонаполненными кабелями на напряжение 110 кВ. Эффективность применения кабелей напряжением 6 -110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена доказана нами на основе метода многоцелевой оптимизации, где учитывались как приведенные затраты на сооружение и эксплуатацию кабельных линий, так и надежность ее работы, а удобство монтажа и другие качественные показатели. Если учитываемые цели одинаково важны, то кабели с полиэтиленовой изоляцией на напряжение 10 -110 кВ более эффективны по сравнению с трехжильными (на напряжение 10 кВ) и одножильными (на напряжение 110 кВ) кабелями с бумажной изоляцией. При этом стоимость кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена может превышать стоимость кабеля с бумажной изоляцией до двух раз.

Если наиболее важная цель состоит в обеспечении минимума приведенных затрат на сооружение и эксплуатацию кабельной линии, то применение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ наиболее целесообразно в отдельных случаях.

**Проблема предварительного определения стоимости сооружения  
воздушных и кабельных линий электропередачи**

Семашко В.С.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Короткевич М.А.  
Белорусский национальный технический университет

Предварительное определение стоимости сооружения ЛЭП производится на этапе проектирования. Для того, чтобы оценить объем инвестиций необходимо определиться с основными проектными решениями и выбрать соответствующее оборудование. Поскольку сооружение ЛЭП является весьма дорогостоящим мероприятием и, зачастую, осуществляется на средства, предоставляемые кредитными организациями, то, иногда, заказчик требует жесткого соблюдения исходной стоимости объекта вне зависимости от необходимости изменений предварительных проектных решений.

Проектирование ЛЭП чаще всего осуществляется в двухстадийной форме. На стадии архитектурного проекта, организация, выполняющая проектные работы, весьма ограничена как в финансовых возможностях, так и во времени, которое предоставляется для выполнения инженерных изысканий и разработки проектной документации, что не лучшим образом сказывается на точности первоначальных проектных решений и определении предварительной стоимости строительства. Для решения данной проблемы можно предложить следующие варианты: переход на одностадийное проектирование, либо составление сборников укрупненных стоимостных показателей для оценки стоимости строительства ЛЭП. Переход на одностадийное проектирование обеспечит большие временные и финансовые возможности для выполнения качественных изыскательских и проектных работ, отпадет необходимость в корректировке первоначальных проектных решений, а также прохождении государственной экспертизы из-за изменений в количестве оборудования или его технических характеристиках, определенных на стадии архитектурного проекта. Составление же сборников укрупненных стоимостных показателей позволит более точно оценивать предварительную стоимость ЛЭП, которая зависит от конструктивного исполнения и различных условий прохождения, в том числе по труднодоступной и населенной местности. Также, в данных сборниках можно предусмотреть некоторый запас по стоимости линии на случай увеличения количества используемого оборудования. Составление данных сборников позволит сравнивать и анализировать изменение стоимости строительства линий электропередачи за некоторые периоды, а также давать прогнозные показатели на будущее.

## Влияние навиваемых оптических кабелей на механические нагрузки от ветра и гололеда на провода и тросы воздушных линий

Савицкий Н.С.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Короткевич М.А.  
Белорусский национальный технический университет

Для организации связи по воздушным ЛЭП можно использовать встроенные или навиваемые оптические кабели. Использование последних может быть экономически оправдано с точки зрения минимизации расходов на их монтаж.

Для различных сочетаний гололедной и ветровой нагрузок, характерных для условий Республики Беларусь, были произведены расчеты изменения механических нагрузок на фазные провода и грозозащитные тросы при навивке по ним оптических кабелей. Результаты расчетов приведены в таблице.

Изменения механических нагрузок на провода и тросы при навивке по ним оптических кабелей

Марка провода или троса	Относительное увеличение механической нагрузки от ветра, %	Относительное увеличение механической нагрузки от ветра с гололедом, %
ТК8	45,0-65,2	7,6-14,0
ТК9.1	38,5-56,1	7,1-13,5
ТК11	29,9-43,8	6,5-12,0
АС 70/11	35,5-46,8	7,9-10,4
АС 95/16	28,3-37,4	7,1-9,4
АС 120/19	24,1-32,0	6,6-8,8
АС 150/24	20,5-27,3	6,1-8,2
АС 185/29	18,0-24,0	5,7-7,7
АС 240/32	14,8-19,8	5,2-6,9

В ходе расчетов было определено, что относительное увеличение механических нагрузок на провода и тросы не зависит от толщины гололеда и скоростного напора ветра, а определяется лишь соотношением диаметров провода и навиваемого оптического кабеля. Из этого можно сделать вывод, что навивку оптических кабелей на ВЛ предпочтительнее производить по фазным проводам, поскольку в этом случае относительное увеличение механических нагрузок меньше, чем при навивке по тросам. Это обстоятельство может сыграть важную роль при соблюдении допустимых габаритов между ВЛ и инженерными сооружениями, дорогами и т.д.

**Разработка методических указаний по безопасному проведению работ на воздушных линиях электропередачи, находящихся под наведенным напряжением**

Драко М.А.  
РУП «Белэнергосетьпроект»

В Республике Беларусь отключенные воздушные линии электропередачи (ВЛ), проходящие по всей длине или на отдельных участках вблизи действующих ВЛ, а так же контактной сети электрофицированной железной дороги переменного тока, и на заземленных проводах (грозозащитном тросе) которых наводится напряжение более 25 В, в пересчете на максимальный ток влияющей ВЛ, являются находящимися под наведенным напряжением.

Если не наблюдается превышение наведенным напряжением значения 25 В, то проведение работ по ремонту или техническому обслуживанию ВЛ выполняется с использованием регламентированных средств защиты, специальные рекомендации по проведению работ не разрабатываются. В случае превышения наведенным напряжением 25 В работы должны выполняться по технологическим картам или проектам производства работ (указаниям), которые разрабатываются индивидуально для каждой ВЛ с учетом всех влияющих факторов.

РУП «Белэнергосетьпроект» разработана система организационных и технических мероприятий для безопасного производства работ под наведенным напряжением на основе расчета потенциальных характеристик проводов отключенных ВЛ, находящихся в зоне влияния действующих ВЛ. Алгоритм указанной системы заключается в следующем:

1. ВЛ классифицируются по степени опасности наведенного напряжения (более или менее 25 В).
2. Для отключенных ВЛ на которых наводится напряжение более 25 В при помощи ПЭВМ рассчитываются оптимальные схемы заземления ВЛ при работах на них под наведенным напряжением.
3. Для выбранной схемы разрабатываются организационные и технические мероприятия по подготовке рабочего места и допуску к работам под наведенным напряжением.

На основании реализованного алгоритма для Белорусской энергосистемы разрабатываются указания для конкретной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением.





## Расчет укрупненных показателей стоимости распределительных электрических сетей

Гапанюк С.Г.

Белорусский национальный технический университет

В качестве распределительной сети рассматривается городская кабельная сеть, которая состоит из кабельных линий (КЛ) напряжением 0,4 и 10 кВ и комплектных трансформаторных подстанций блочного типа (КТПБ) максимальной заводской готовности, которые сегодня находят все более широкое применение.

Капитальные затраты для строительства такой сети определяются выражением

$$K_{сети} = K_{КЛ\ 0,4} + K_{КЛ\ 10} + K_{КТПБ}.$$

Стоимость строительства километра кабельных линии определяется на основе сметных расчетов и при этом практически не зависит от номинального напряжения линии и может быть определена как сумма затрат на подготовку траншеи ( $K_{ТР}$ ), прокладку и стоимость кабеля ( $K_{ПК}$ ), устройство закрытых переходов ( $K_{ЗП}$ ) и благоустройство ( $K_{БУ}$ ):

$$K_{КЛ} = K_{ТР} + K_{ПК} + K_{ЗП} + K_{БУ}.$$

Анализ смет по реальным объектам строительства, а также смет составленных для некоторых условных КЛ позволяет сказать, что величина  $K_{ТР}$  находится в диапазоне от 11000 до 22000 бел. руб./км,  $K_{ЗП}$  приблизительно равна 200 бел.руб/м,  $K_{БУ}$  может быть принята как 10-30 % от  $K_{ТР}$ . Что касается стоимости самого кабеля и его прокладки, то для наиболее применяемых сегодня марок кабелей АВББШВ 4xF-1, ААБЛу 3xF-10 и ЦАСБЛ 3xF-10, где F – сечение жилы, эта величина может быть определена выражениями  $(90 \cdot F + 7000)$ ,  $(156 \cdot F + 8400)$  и  $(220 \cdot F + 12750)$  бел. руб/км соответственно.

После анализа текущего состояния городских электрических и требований действующих в Республике Беларусь ТНПА, в качестве типовой городской подстанции была взята двух трансформаторная подстанция оборудованная элегазовым распределительным устройством 10 кВ состоящим из двух модулей по четыре присоединения, низковольтным комплектным устройством, системами телемеханики и АСКУЭ.

В результате расчета получена следующая зависимость стоимости строительства КТПБ от мощности устанавливаемых силовых трансформаторов (стоимость рассчитывается в белорусских рублях):

$$K_{кмпб} = 98 \cdot S + 97500,$$

где S – мощность одного трансформатора.

**Совершенствование научно-методического обеспечения  
лабораторных работ до дисциплинам «Электрические сети»  
и «Конструкции и режимы электрических сетей»**

Мышковец Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для расчета режимов электрических систем и сетей активно используются специализированные программы такие как RastrWin, Mustang, различные программы для расчета режимов и потерь в распределительных сетях. Кроме того, существуют программы, которые специально не предназначены для расчета режимов, но могут быть использованы для этой цели (MathCad, Matlab и другие). Они используются как в промышленных целях так и в учебных при курсовом и дипломном проектировании. Однако отдельных дисциплин в рамках которых могло проводиться ознакомление с ними в учебных планах нет. При выполнении курсовых проектов и работ, а также дипломных проектов с помощью данных программ, часть времени отведенного для самостоятельной работы студенты вынуждены тратить на ознакомление с программами. Обучение работе с такими программами могло бы производиться при проведении лабораторных работ по дисциплинам «Электрические сети» и «Конструкции и режимы электрических сетей» в рамках которых также производятся расчеты режимов электрических сетей. При этом студенты могли бы при необходимости выполнять лабораторные работы дома, например при дистанционной форме получения образования, или с целью лучшей подготовки по дисциплине.

В настоящее время в рамках дисциплины «Электрические сети» преподавателями кафедры «Электрические системы» подготовлено методическое пособие по выполнению лабораторных работ на компьютерах с помощью программного пакета Matlab, что позволяет подготовить студентов к работе с ней в дальнейшем. Лабораторные работы по дисциплине «Конструкции и режимы электрических сетей» также выполняются на ЭВМ по программе Rastr или более новой ее версии RastrWin. Данные программы предназначены для расчета режимов и ориентированы в основном на замкнутые электрические сети. Желательно было бы в рамках дисциплины производить обучение расчетам и распределительных электрических сетей с помощью специализированных программ, учитывающих специфику таких сетей. Это в дальнейшем позволило бы снизить затраты времени на выполнение курсовых работ с использованием данных программ.

**Методы повышения надежности и точности измерительной информации в энергосистемах**

Анищенко В.А., Кузьма Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Повышение эксплуатационной надежности и точности измерений аналоговых переменных и сигнализации положений коммутационных эмпирических аппаратов достигается посредством контроля их достоверности в темпе технологических процессов. Необходимым условием контроля является информационная избыточность об измеряемых данных.

Основу информационной базы составляют результаты прямых (непосредственных) измерений и сигнализации. Дополнительная информация, обеспечивающая избыточность, может быть априорной и апостериорной. Рассматриваемая задача в общем случае включает в себя обнаружение и локализацию недостоверных данных, поиск замещающих недостоверные данные наиболее вероятных значений, уточнение достоверных результатов измерений. Признаком недостоверного измерения при контроле по предельным значениям является выход результата измерения за известные границы достоверных значений контролируемой переменной. Аналогично работает алгоритм контроля по первым приращениям значений переменной. При одновременном измерении одной переменной несколькими приборами признаком недостоверности является недопустимо большое расхождение показаний приборов. При контроле достоверности взаимосвязанных аналоговых переменных признаком является превышение невязки уравнений связи допустимых значений, определяемых в зависимости от точности установленных приборов.

Если удается локализовать недостоверное измерение, определяется наиболее вероятное замещающее значение, которым может быть предыдущий достоверный результат измерения, среднее в диапазоне достоверных значений переменной или значение переменной, рассчитанное в зависимости от достоверных значений переменных в уравнении связи. Информационная избыточность позволяет найти более точные оценки значений переменных по сравнению с их достоверными результатами измерений методами статистического оценивания.

Диагностика состояния сигнализации положений коммутационных аппаратов производится совместно с контролем достоверности измерений логически связанных с положениями аппаратов аналоговых переменных.

## Разрешающая способность контроля достоверности измерений технологических переменных по предельным значениям

Анищенко В.А., Писарук Т.В.

Белорусский национальный технический университет

Высокий уровень эксплуатационной надежности систем электроснабжения обеспечивает оперативный контроль достоверности измеряемых переменных (электрических токов, напряжений, мощностей, энергий). Методы оперативного контроля основаны на использовании семантического значения измеряемых данных, вытекающего из технологического смысла решаемой задачи. Они дополняют методы аппаратурного контроля состояния автоматизированных систем управления на основе цифровых кодов и повышают общую эксплуатационную надежность измерения, передачи и сбора информации. Наиболее распространенным семантическим методом является контроль достоверности по предельным значениям, когда результат измерения сравнивается с верхней и нижней границами достоверных значений в нормальных условиях работы. Недостаток этого метода состоит в низкой разрешающей способности, обусловленной возможным во многих случаях широким диапазоном достоверных значений переменных. Обоснованное сужение диапазона достоверных значений переменных на основе теории статистических решений позволяет повысить разрешающую способность контроля по предельным значениям. Если известны вероятность грубой погрешности измерения  $q$ , цены ложной тревоги  $C_{лт}$  и пропуска грубой погрешности  $C_{пр}$ , суженный по сравнению с исходным диапазон достоверных значений определяется по критерию минимума средней цены многократного распознавания недостоверного измерения

$$C_{ср} = (1 - q)C_{лт}F_{лт} + qC_{пр}F_{пр} = \min ,$$

где  $F_{лт}$  и  $F_{пр}$  – вероятности ложной тревоги и пропуска грубой погрешности, зависящие от границ принятия решения о достоверности измерения. При отсутствии надежной информации о значениях параметров  $q$ ,  $C_{лт}$ ,  $C_{пр}$  границы достоверных измерений определяются по критерию минимакса, который гарантирует минимальные значения  $C$  при наиболее «неблагоприятных» значениях параметров  $q$ ,  $C_{лт}$ ,  $C_{пр}$ :

$$C = (1 - q)C_{лт}F_{лт} + qC_{пр}F_{пр} = \min \max .$$

Сужение диапазона допускаемых достоверных значений измеряемых переменных существенно повысит разрешающую способность контроля.

**Местное воздействие ветроэнергетического проекта  
на окружающую среду**

<sup>1</sup>Горноста́й А.В., <sup>2</sup>Ролик Ю.А.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Институт транспорта и связи, Латвия

Прямое физическое воздействие ветроэнергетической установки (ВЭУ) на окружающую среду складывается из фундамента, дороги, кабелей и воздействия собственно ВЭУ, которая занимает определенное место в пространстве [1]. Также надо учитывать воздействие на флору и фауну, которое зависит от типа растительности и животного мира в месте расположения ВЭУ [2].

Учитывать надо и два типа шума, создаваемого ВЭУ: механический шум от движущихся механических компонентов гондолы - редуктора, генератора и других, и аэродинамический шум от вращающихся лопастей ротора. Разработаны подробные правила и методы измерения шума на разных расстояниях от ВЭУ, также существуют нормы допустимого уровня шума для разного типа зданий и сооружений [3].

ВЭУ оказывает и визуальное воздействие на окружающий пейзаж. На расстоянии 925 м (10-кратном для ВЭУ с высотой мачты 92,5 м) ВЭУ занимает доминирующее положение на пейзаже. На расстоянии 1 км ВЭУ ясно различима, однако она уже не доминирует над окружающей средой. Наконец, на расстоянии 5 км ВЭУ воспринимается как часть пейзажа.

Вообще ВЭУ видно с расстояния, до 400 раз превышающего высоту мачты, т.е. с расстояния 20 км для ВЭУ с высотой мачты 50 м. Тем не менее, уже на расстоянии после 5 км ВЭУ сливаются с пейзажем.

### **Литература**

1. Ролик, Ю.А. Управление инновационными ветроэнергетическими проектами. Монография / Ю.А. Ролик. Рига: Институт транспорта и связи, 2008. – 186 с.
2. Агеев, В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / сост. В. А. Агеев. – Саранск: Изд-во НИМГУ им. Н.П.Огарева, 2014. – 184 с.
3. Сибикин, Ю.Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: РадиоСофт, 2008. – 228 с.

**Единые серии электрических машин**

Константинова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Электрические машины, предназначенные для массового применения, выпускаются едиными сериями. Для электрических машин единых серий характерны высокий уровень унификации деталей и узлов и их максимальная взаимозаменяемость. Серия электрических машин представляет собой ряд электрических машин возрастающей мощности, имеющих однотипную конструкцию и удовлетворяющих общему комплексу требований. Создание единых серий асинхронных машин является центральной задачей технической политики электромашиностроения любого государства.

Асинхронные двигатели начиная с 1950 года разрабатывались и выпускались в стране в виде единых серий: А, АО, АОЛ, АК (1949—1951 годы), А2, АК2, АО2 (1958—1960) годы, АЗ, АОЗ (1964—1965 годы). На базе серии А2 разработана первая всесоюзная серия взрывозащищенных асинхронных двигателей ВАО (ВАО2), которая должна была заменить все ранее выпускаемые взрывозащищенные двигатели – К, КО, КОМ, МА.

В 70-е годы была разработана и внедрена серия электродвигателей, которая получила широкое распространение 4А и ее модификации. В связи с требованиями мирового электромашиностроения к асинхронным двигателям на замену двум предыдущим сериям 4А и 4АМ в 80-х годах бывшей организацией социалистических стран ИНТЕРЭЛЕКТРО была разработана унифицированная серия асинхронных электродвигателей АИ (Асинхронные Интерэлектро). Двигатели серии АИ отвечают всем рекомендациям МЭК, отечественных стандартов и стандартов СЭВ (1348-78-4744-84). Двигатели серии АИ отличаются повышенными надежностью и перегрузочной способностью, расширенным диапазоном регулирования, улучшенными энергетическими и виброакустическими характеристиками.

Электродвигатели единой серии 4А в настоящее время сняты с производства. Общепромышленные электродвигатели серий АИР, 5А являются аналогами серии 4А и полностью взаимозаменяемы по мощности и установочно-присоединительным размерам.

В последние годы освоен выпуск новых серий асинхронных двигателей серий 5А; серий RA (российский асинхронный), в диапазоне мощностей от 0,37 до 100 кВт, 6А, 7А. Разработка серий базировалась, кроме отечественных стандартов, на рекомендациях МЭК (Международной электро-технической комиссии).

Гаврилович О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Большой популярностью сегодня пользуются светодиодные источники света, так как их можно использовать в самых разнообразных условиях, обеспечивая высокое качество и яркость освещения.

Светодиодные светильники выпускаются мощностью от 3 до 25 Вт, с цветовой температурой от 2700 до 6700 К, на напряжение от 12 В постоянного тока до 230 В переменного, с различными цоколями, позволяющими произвести прямую замену традиционно используемых осветительных приборов светодиодными аналогами. Светодиоды малочувствительны к переменным нагрузкам, частым включениям и выключениям. Все большее количество выпускаемых светильников поддерживает функцию регулировки яркости света с помощью диммера, что позволяет добиться благоприятной для зрения освещенности помещения, т.е. улучшить эргономику и повысить безопасность, при большом количестве светильников дает возможность экономить электроэнергию, а за счет снижения рабочей температуры может быть увеличен срок службы компонентов светодиода. Такая функция затемнения может выполняться с применением аналогового способа изменения тока светодиода (имеет ограничения применения, так как с изменением тока может изменяться цвет свечения светодиода) или с использованием широтно-импульсной модуляции. Для светодиодных светильников также доступны различные модули для расширения функциональных возможностей устройства, к ним относятся реле прямого и обратного чередования фаз, трехпроводные системы, управление 0-10В, DALI и DMX и другие. Применение таких модулей позволяет использовать светодиодные светильники в системах управления освещением, создавать с ними различные режимы освещения в зависимости от времени суток, наличия естественного освещения, необходимости создать определенную световую атмосферу помещения, в зависимости от интенсивности и вида производимых работ, графика работ, присутствия людей в освещаемых зонах и т. д. Также разнообразно конструктивное исполнение рассматриваемых светильников. В зависимости от этой характеристики светильники можно использовать в помещениях различного назначения, начиная с жилых зданий и заканчивая промышленными цехами, используя их в качестве как основного освещения так и декоративного.



**Принципы построения систем управления освещением  
для помещений различного назначения**

Гаврилович О.Н.

Белорусский национальный технический университет

При построении систем управления освещением для любого помещения необходимо учитывать такие факторы как наличие или отсутствие естественного освещения, длительность пребывания людей в рассматриваемом помещении, обеспечение энергоэффективности объекта.

Стоит заметить, что сегодня уже появилось множество модификаций и комплектаций, в которых система управления освещением может быть выполнена. Производители предоставляют комплекты системы со встроенными Wi-Fi и/или Bluetooth передатчиками (модулями связи) в контроллер, а также системы с использованием USB-модема (беспроводной интернет), по средствам которых можно управлять системой беспроводным способом. Системы поддерживают и стационарное и дистанционное управление. В результате применения систем управления освещением в помещениях снижается потребление электроэнергии, снижаются затраты на замену ламп, повышается комфорт и безопасность работы персонала.

В системах управления освещением могут применяться контроллеры (для комплексного управления различными системами освещения), модули управления, светильники с входом управления световым потоком, фотодатчики (для автоматического обеспечения постоянной освещенности с учетом интенсивности естественного света), активные или пассивные инфракрасные датчики движения, видеокамеры с различными зонами чувствительности (для видеонаблюдения и для повышения энергоэффективности объекта), таймеры управления освещением, датчики присутствия (для автоматического учета присутствия людей в освещаемом помещении), диммеры (для плавного регулирования светового потока).

Исходя из назначения помещения и присутствия вышеперечисленных факторов, система управления освещением может комплектоваться отдельными элементами управления по необходимости (например, для управления освещением подвала без естественного освещения достаточно датчика движения), либо же множеством элементов для комплексного управления освещением, образуя сложную систему управления, которая позволит создавать необходимое количество режимов освещения, учитывая все нюансы (например, для таких объектов как офисное здание, жилой дом, промышленный объект).

## **Основные риски, возникающие в процессе реализации ветроэнергетических проектов и возможные пути их предотвращения**

<sup>1</sup>Горноста́й А.В., <sup>2</sup>Ролик Ю.А.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Институт транспорта и связи, Латвия

Реализация проекта строительства ветропарка сопряжена с рисками как внешнего, так и внутреннего характера, свойственными проектам в реальном секторе экономики в современных условиях.

Оценка проекта производится при единственном сценарии его реализации с учетом факторов возможного возникновения условий, приводящих к ухудшению результатов проекта, и выполняется путем включения при выборе значения нормы поправки на риск [1]. Величина поправки на риск для базисного варианта проекта принимается в размере 100% от безрисковой коммерческой нормы дисконта [2].

Основными рисками ветроэнергетического проекта являются технические, технологические и коммерческие риски, связанные с неполучением предусмотренных доходов или превышением запланированных расходов.

Преодолеть указанные риски позволят различные принимаемые меры государственной поддержки. Важнейшими мерами государственной поддержки являются принятие государственного решения об установлении фиксированной цены на электроэнергию, отпускаемую с ВЭУ в общую энергосистему, предоставление Правительством государственных гарантий перед иностранным инвестором на предоставляемое финансирование для реализации инвестиционного ветроэнергетического проекта, обеспечение приема всей предложенной энергии, произведенной с помощью ветра, поставляемой независимыми производителями в государственные энергетические сети [3].

### **Литература**

1. Конеченков, А.Е. Ветроэнергетика: барьеры и тенденции / А.Е. Конеченков. – 2012. – № 6 (67). – С. 94–99.
2. Елистратов, В.В. Климатические факторы возобновляемых источников энергии / В.В. Елистратов и др. – СПб.: Наука, 2010. – 235 с.
3. Ролик, Ю. А. Управление инновационными ветроэнергетическими проектами. Монография / Ю.А. Ролик. Рига: Институт транспорта и связи, 2008. – 186 с.

## **Особенности учета высших гармоник при выборе сечений линий наружного освещения**

Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Выбор сечения проводников линии наружного освещения производится по условиям, приведенным в ТКП 45-4.04-287-2013.

При выборе сечения проводников осветительной линии пользуются рядом упрощений:

- расчет по условию допустимой потери напряжения производится без учета индуктивного сопротивления проводников;
- мощность светильника включает в себя потери в пускорегулирующей аппаратуре и мощность лампы. Эти величины принимают равными номинальным, хотя мощность, потребляемая лампой, зависит от уровня напряжения на ней;
- не учитываются высшие гармоники, источником которых являются светильники с газоразрядными лампами высокого давления.

В Беларуси среди задействованных в наружном освещении светильников наиболее распространенными являются с лампами типа ДНаТ. Оценивая влияние высших гармоник на выбор сечений проводников, рассмотрена линия наружного освещения с лампами ДНаТ. Осветительная линия подключена к пункту питания.

Ток светильника с ДНаТ содержит нечетные гармоники (до 39-й). Протекание токов высших гармоник вызывает падение напряжений на отдельных участках и искажение синусоидальности напряжения.

Если сечения проводников линии выбраны с учетом выше указанных упрощений, то реальная величина напряжения на наиболее удаленном светильнике будет меньше расчетной. В зависимости от конфигурации линии, количества и мощности светильников реальная величина может быть ниже допустимого уровня. Тогда для обеспечения необходимого уровня напряжения на наиболее удаленном светильнике следует применять кабели с большими сечениями жил. Выбор сечения проводников без выше указанных упрощений производится на основе расчета режима работы линии наружного освещения.

Также необходимо отметить, что при учете высших гармоник ток в нулевом рабочем проводнике сопоставим с током в фазных проводниках. Так как гармоники, кратные трем (3, 9, 15, 21, 27, 33, 39), образуют систему векторов нулевой последовательности, совпадающих по фазе.

## Влияние высших гармоник на качество освещения

Козловская В.Б., Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Показателями качества электроэнергии, которые относятся к гармоническим составляющим напряжения, являются:

– значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка  $K_{U(n)}$ , %;

– значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения (суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения)  $K_U$ , % в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей нормы приведены в ГОСТ 32144-2013. На основании этих норм оценивается несинусоидальность напряжения.

Светильники с газоразрядными лампами высокого давления, на сегодняшний день преобладающие в наружном освещении, обладают нелинейными вольт-амперными характеристиками и являются источниками высших гармоник.

Величина токов высших гармоник для светильников с газоразрядными лампами высокого давления зависит от типа используемых ламп (ДНАТ, ДРИ, ДРЛ и др.).

Высшие гармоники влияют на эксплуатационные параметры линии. Протекание токов высших нечетных гармоник приводит к искажению синусоидальности напряжения, а также к повышению потерь напряжения и мощности на участках линии наружного освещения.

При этом величина светового потока источника света определяется уровнем напряжения на зажимах светильника. Таким образом, световой поток наиболее удаленных от пункта питания светильников может значительно отличаться от номинального.

Пускорегулирующие аппараты газоразрядных ламп содержат конденсаторы, поэтому может возникнуть резонанс, приводящий к снижению срока службы лампы и конденсатора.

Работа пускорегулирующих аппаратов при несинусоидальности тока и напряжения приводит к повышенному шуму, что является значимым для внутреннего освещения, в то время как для наружного уровень шума не регламентируется.

Важной особенностью также является увеличение погрешности приборов учета электроэнергии, установленных в пунктах питания, если приборы учета калибруются при чисто синусоидальном токе и напряжении.

**Защита электрических сетей от перенапряжений**

Колосова И.В., Швед Г.А.

Белорусский национальный технический университет

В электрических сетях напряжением до 1 кВ возможны импульсные перенапряжения длительностью от микросекунд до нескольких миллисекунд в результате ударов молнии, разрядов статического электричества, коммутации рабочих и аварийных токов. Это приводит к повреждению изоляции электрооборудования, а также сбою в работе электронных устройств. Перенапряжения имеют различную природу и отличаются длительностью и величиной. Длительные перенапряжения (свыше 0,01 с) обычно возникают из-за неисправности понижающего трансформатора на подстанции или обрыва нулевого провода в питающей сети, кратковременные могут произойти в результате переключений в электросети или во время включения мощных реактивных нагрузок, а также при грозовых разрядах. При этом напряжение достигает десятков киловольт и длится микросекунды, современные защитные автоматы при этом не успевают на них среагировать.

Существует внешняя и внутренняя грозозащита. Внешняя – от прямых попаданий молний (молниеотвод, токоотвод, заземлитель), внутренняя (приобрела значение в связи с широким применением микропроцессорной техники) внутри здания защищает электроустановки от токов молний и коммутаций, а также в результате повышения потенциала в системе заземления и от воздействия электромагнитных полей. В электросетях применяются устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), которые ограничивают импульсы перенапряжения и отводят импульсы тока в землю. Основной составной частью ограничителя перенапряжения является варистор, либо искровой разрядник. Уровень напряжения защиты является важнейшим параметром, характеризующим УЗИП. Он определяет значение остаточного напряжения вследствие прохождения разрядного тока. Для надежной защиты электросети от перенапряжений создаются многоуровневые (трехступенчатые) системы защиты из УЗИП. Защита при прямом попадании молнии, устанавливается на вводе в здание в главном распределительном щите; при удаленном ударе молнии или при переключениях в системах электроснабжения, устанавливаются на вводе электроустановок и непосредственно возле потребителя. В многоступенчатых системах защиты следует обеспечивать соответствие мощности каждой ступени, т.е. максимальный ток, не должен превышать номинальных значений. Для этого нужна эффективная система заземления.

**Классы энергоэффективности электродвигателей**

Константинова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Класс энергоэффективности – характеристика продукции, отражающая ее энергоэффективность. КПД и потери определяют в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60034-2-1. Энергоэффективность – совокупность характеристик, отражающих отношение полезного эффекта использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции или технологическому процессу.

С сентября 2008 г в Европе был принят стандарт энергоэффективности IEC 60034-30, где все электрические двигатели делятся на 4 класса энергоэффективности: стандартный (ie1); высокий (ie2); высший, PREMIUM (ie3); сверхвысокий, Super-Premium (ie4). Обозначение класса энергоэффективности состоит из букв IE («International energy efficiency class»), после которых без пробела следует номер класса в соответствии с таблицей настоящего стандарта (ГОСТ Р 54413–2011 (код IE)»).

Номинальный КПД и класс энергоэффективности IE должны быть приведены на заводской табличке (например, IE2 – 84,0 %). Следует отметить, что в настоящем стандарте применены основные термины и определения, установленные в ГОСТ 27471, а также следующие термины КПД с соответствующими определениями:

- средний КПД (average efficiency) – средняя величина КПД семейства двигателей, имеющих одинаковую конструкцию и номинальные данные;
- нормативный КПД (nominal efficiency) – величина КПД, соответствующая определенному классу энергоэффективности, выбранная по таблицам настоящего стандарта; номинальный (паспортный) ;
- КПД (rated efficiency) – величина КПД, заявленная производителем и равная номинальному КПД или превышающая его.

В общем случае переход к применению энергоэффективных электродвигателей позволяет: повысить КПД двигателя на 1–10%; увеличить надежность его работы; уменьшить время простоев и затраты на техническое обслуживание; повысить устойчивость двигателя к тепловым нагрузкам; улучшить перегрузочную способность; повысить устойчивость двигателя к различным нарушениям эксплуатационных условий: пониженному и повышенному напряжению, искажению формы волн (гармоникам), несбалансированности фаз и т. д.; увеличить коэффициент мощности; снизить уровень шума.

**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 освещенности; возможности 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 получить экономический эффект от применения данной системы. Нет сомнений в необходимости внедрения подобной системы, однако, состав технических средств для достижения желаемого результата может отличаться.

**Анализ технических характеристик кабелей с изоляцией  
из сшитого полиэтилена**

Радкевич В.Н., Алехнович Д.С., Угаров М.С.  
Белорусский национальный технический университет

При проектировании систем электроснабжения (СЭС) объектов разного назначения в электрических сетях напряжением 6 -10 кВ широко применяются трехжильные и одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Для выбора сечений токопроводящих жил кабелей по допустимому нагреву и термической стойкости необходимо знать их основные технические характеристики: длительно допустимые токи, активные и индуктивные сопротивления, а также допустимые односекундные токи короткого замыкания (КЗ). Эти характеристики принимаются по справочной литературе или по технической документации производителей кабельной продукции, в которой приводятся рекомендации по выбору кабелей. При проектировании СЭС следует учитывать, что предоставляемая разными производителями информация о кабелях с изоляцией из СПЭ, может существенно различаться по принятым условиям прокладки, окружающей среды и техническим характеристикам. Например, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена шведско-швейцарской компании *ABB* допустимые по нагреву токи кабелей указываются при температуре окружающей среды 35°C при прокладке в воздухе и 20°C - в земле. Глубина прокладки в земле принята 1м, термическое сопротивление грунта – 1 К·м/Вт. При этом отсутствует конкретная информация по допустимым перегрузкам кабелей. Для кабелей ЗАО завод «Южкабель» (г. Харьков, Украина) имеются отличия по температуре воздуха (30°C), термическому сопротивлению грунта (1,5 К·м/Вт) и глубине прокладки в земле (0,8 м). Коэффициенты допустимой перегрузки кабелей приняты 1,17 при прокладке в земле и 1,2 – в воздухе. Допустимые токи кабелей АО «Электрокабель» Кольчугинский завод» (Россия) приводятся при температуре земли 15 °С, воздуха 25°C, термическом сопротивлении грунта 1,2 К·м/Вт и глубине прокладки в земле 0,7 м. При проектировании электрических сетей СЭС допустимые по нагреву токи и другие технические характеристики кабелей целесообразно принимать по документации производителей. Для приведения допустимых токов кабелей к реальным условиям прокладки следует использовать поправочные коэффициенты, приводимые в заводских инструкциях. Это необходимо для обеспечения декларированных производителями преимуществ кабелей с изоляцией из СПЭ по сравнению с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией.



**Состояние и перспективы развития возобновляемой  
энергетики в Марокко**

Русан В.И., Аит Бахажу М.

Белорусский государственный аграрный технический университет  
Белорусский национальный технический университет

В Марокко в настоящее время в результате использования возобновляемых источников энергии производится 15 % вырабатываемой в стране электроэнергии, к 2020 г. планируется довести этот показатель до 42 %, а к 2030 г. до 52 %. Климатические условия Марокко благоприятствуют развитию солнечной энергетики: в стране 300 дней – солнечные. Поставленной целью Марокко является достижение к 2040 г. уровня производства электроэнергии за счет солнечной энергии 18 % (4,5ГВт). В городе Айн-Бени-Матхар в 2011 г. введена в эксплуатацию гибридная электростанция, работающая на солнечной энергии и газе, мощностью 472 МВт, из которых 20 МВт обеспечиваются за счет энергии солнца, остальное – природный газ. Солнечная электростанция введена в эксплуатацию в 2015 г. в Уарзазат и получила название «Нур 1» (160 МВт). Вторая фаза проекта близ предусматривает строительство станций «Нур 2» и «Нур 3» (их общая мощность со временем составит 500 МВт).

**Проект по строительству СЭС** позволит оптимизировать использование природных ресурсов Королевства, сохранить окружающую среду, дать импульс социально-экономическому развитию, а также обеспечить будущее следующим поколениям.

Большое внимание в Марокко уделяется развитию ветровой энергетики. В настоящее время уже функционирует сеть ветроэлектростанций общей мощностью более 1 ГВт. Согласно стратегии Королевства Марокко к 2020 г. объем мощностей ветроэлектростанций должен превысить 2 ГВт. Наибольший удельный вес в производстве электроэнергии занимает гидроэнергетика (более 13 % общего произведенного объема электроэнергии в стране). Общая мощность станций составляет 1360 МВт. В дополнение к этому в области Ориентал на севере страны имеется гидроаккумулирующая станция мощностью 464 МВт. Оцениваемый гидроэнергетический потенциал страны на перспективу составляет 2500 МВт без учета гидроаккумулирующих установок, который используется в настоящее время только на 40 %. Для использования этого имеющегося потенциала правительство планирует сооружение дополнительных станций к 2020 г., после чего суммарная мощность гидроэлектростанций будет составлять 2000 МВт.

**Перспективы увеличения доли электронагрева в электропотреблении существующих производственных объектов**

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь в связи с вводом атомной электростанции создаются и будут создаваться условия, стимулирующие рост потребления электрической энергии. На существующих производственных объектах одним из явных направлений является увеличение доли электронагрева как для технологических целей, так и для отопления и горячего водоснабжения. Согласно действующим нормативно-правовым актам подключение электронагревательных устройств к электросетям энергоснабжающих организаций осуществляется в пределах пропускной способности действующих линий электропередачи и трансформаторных подстанций. Таким образом, при переходе на электронагрев основным изменениям будут подвергаться электрические сети внутренней системы электроснабжения (СЭС). После реализации мероприятий по увеличению доли электронагрева в электропотреблении, производственные объекты могут столкнуться с множеством проблем, которые уже затронули ряд предприятий. Так, в связи с увеличением электрических нагрузок, элементы СЭС начинают работать с высокой загрузкой, иногда близкой к номинальной, а ввиду их значительной изношенности и наличия скрытых дефектов резко возрастает число аварий и незапланированных ремонтов. Очевидно, что зачастую требуется увеличение пропускной способности существующих линий электропередачи и силовых трансформаторов, что влечёт за собой существенные затраты на реконструкцию существующей системы электроснабжения. Во многих случаях необходима перестройка либо замена коммутационной аппаратуры, релейных защит и автоматики.

Также, из-за появления новых электронагревательных устройств происходит смещение центра электрических нагрузок, что приводит к ухудшению технико-экономических показателей СЭС. Кроме увеличения потерь электрической энергии, имеют место проблемы с качеством электрической энергии. В частности, наблюдается существенный рост величины отклонения напряжения, а также коэффициентов несимметрии.

Таким образом, для поддержания надежного и экономичного функционирования СЭС, после увеличения доли электронагрева в электропотреблении существующих производственных объектов, следует вести непрерывный контроль за техническим состоянием и нагрузкой элементов СЭС, а также контроль качества электрической энергии.

**Анализ совместимости режима работы производственных объектов с белорусской энергосистемой после ввода АЭС**

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

С целью диверсификации топливного баланса энергосистемы в Республике Беларусь было принято решение о строительстве атомной электростанции (АЭС) мощностью 2200 МВт. Основными потребителями электроэнергии в Беларуси являются производственные объекты. На их долю приходится более 60% всей потребляемой электроэнергии. Очевидно, что с вводом АЭС в стране усложнится проблема регулирования нагрузки, особенно при прохождении ночных минимумов в отопительный период. В Беларуси уже принят комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 г. с учетом ввода АЭС, который в первую очередь отражает вектор на стимулирование роста электропотребления с одновременным снижением уровня его неравномерности. Несмотря на то, что данный план развития на прямую не касается производственных объектов, легко спрогнозировать, что применение новых дифференцированных тарифов, а в большей степени административные рычаги управления вынудят практически все без исключения производственные объекты, разработать ряд мероприятий по снижению суточного уровня неравномерности электропотребления с увеличением потребления электрической энергии в ночное время.

В рамках исследования был произведен анализ текущего режима работы ряда производственных объектов различной отраслевой принадлежности, включающий анализ характерных суточных графиков потребления электрической энергии, выявление потребителей-регуляторов, а также анализ тепло- и топливопотребляющего оборудования, на предмет возможного его перевода на использование электрической энергии для целей нагрева. В ходе работы была разработана методика, позволяющая определить потенциал по увеличению электропотребления производственным объектом, а также экономически целесообразный предел регулирования существующего графика электрических нагрузок за счет реализации ряда мероприятий. Было проведено ранжирование данных мероприятий по первоочередности их внедрения в зависимости от требуемых капитальных затрат. Особое внимание уделено производственным объектам, имеющим собственные источники электрической энергии. В частности, произведен анализ последствий изменения величины вырабатываемой ими электрической энергии по теплофикационному циклу на экономичность их работы.

**О выборе номинальной мощности силовых распределительных трансформаторов**

Радкевич В.Н., Мильто А.В., Супрунюк А.В.  
Белорусский национальный технический университет

Выбор рациональной номинальной мощности  $S_{\text{ном}}$  силовых распределительных трансформаторов является одной из основных задач проектирования систем электроснабжения (СЭС) промышленных и коммунально-бытовых потребителей. Анализ загрузки силовых распределительных трансформаторов показывает недостаточное использование их установленной мощности. Коэффициенты загрузки трансформаторов в период максимальных нагрузок потребителей во многих случаях не достигают значений, регламентированных нормативно-технической литературой и указанных в проектной документации. Недоиспользование трансформаторной мощности приводит к неоправданным затратам на электроснабжение, а в ряде случаев и к увеличению потерь мощности и электроэнергии. Рассмотрим основные факторы, влияющие на выбор количества и  $S_{\text{ном}}$  силовых трансформаторов. Первоначально отметим отсутствие в РБ методических пособий и четких рекомендаций в нормативных документах по выбору трансформаторов промышленных предприятий. В ТКП 45-4.04-297-2014 (02250) указано, что расчетные нагрузки, найденные по коэффициентам использования и максимума, для трансформаторов «следует корректировать с учетом нагрузок, определяемых по удельным расходам электроэнергии». Воспользоваться корректно этими рекомендациями при проектировании невозможно. К нерациональному выбору трансформаторов приводит также завышение расчетных электрических нагрузок на напряжении до 1 кВ.

В методиках расчета нагрузок интервальные значения коэффициентов использования и численные результаты рекомендуется принимать соответствующими большему значению расчетной мощности. При расчетах не всегда исключаются резервные и работающие в кратковременном режиме электроприемники. Имеет место и человеческий фактор, заключающийся в обоснованном опасении проектировщиками возможных последствий от занижения расчетной нагрузки, которые более негативны, нежели при ее завышении. Завышению  $S_{\text{ном}}$  способствует и существующая шкала номинальных мощностей трансформаторов, построенная с коэффициентом 1,6. Для выбора рациональной номинальной мощности  $S_{\text{ном}}$  в первую очередь необходимо внести соответствующие изменения в ТКП 45-4.04-297-2014 и разработать методические рекомендации по выбору силовых трансформаторов.

**Магнитодвижущая сила трансформатора  
«звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»**

Збродыга В.М., Зеленкевич А.И., Збродыга М.П.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Вторичные фазные обмотки трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1] состоят из трех частей с соотношением количества витков 0,5:0,25:0,25, размещенных на разных стержнях трехстержневого магнитопровода и соединенных последовательно.

Результирующее магнитное поле трансформатора в нагрузочном режиме создается совместно первичной и вторичной обмотками. Так как на каждом из стержней располагаются части вторичных обмоток всех фаз, то магнитодвижущие силы в стержнях магнитопровода, на которых расположены первичные обмотки фаз «А», «В» «С» будут равны соответственно:

$$i_{A\mu}W_1 = i_A W_1 + i_a \frac{W_2}{2} - i_b \frac{W_2}{4} - i_c \frac{W_2}{4},$$

$$i_{B\mu}W_1 = i_B W_1 + i_b \frac{W_2}{2} - i_a \frac{W_2}{4} - i_c \frac{W_2}{4},$$

$$i_{C\mu}W_1 = i_C W_1 + i_c \frac{W_2}{2} - i_a \frac{W_2}{4} - i_b \frac{W_2}{4},$$

где  $i_{A\mu}, i_{B\mu}, i_{C\mu}$  - мгновенные значения намагничивающих токов трех фаз, А;

$i_A, i_B, i_C$  - мгновенные значения первичных фазных токов при нагрузке, А;

$i_a, i_b, i_c$  - мгновенные значения вторичных фазных токов, А;

$W_1, W_2$  - количество витков первичной и вторичной обмотки, шт.

Результирующая магнитодвижущая сила не зависит от величины нагрузки, потому что пропорционально изменению вторичных токов изменяются токи первичной обмотки, а изменение размагничивающего действия вторичной обмотки компенсируется пропорциональным изменением намагничивающего действия первичной обмотки.

## О распределении магнитных потоков в трансформаторе «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»

Збродыга В.М., Зеленькевич А.И., Позняк А.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

МДС трансформатора создает основные магнитные потоки  $\Phi_A, \Phi_B, \Phi_C$ , которые замыкаются по магнитопроводу и индуцируют в обмотках ЭДС. Часть силовых линий магнитного поля создает потоки рассеяния первичной  $\Phi_{A\sigma}, \Phi_{B\sigma}, \Phi_{C\sigma}$  и вторичной обмотки  $\Phi_{a1\sigma}, \Phi_{a2\sigma}, \Phi_{a3\sigma}, \Phi_{b1\sigma}, \Phi_{b2\sigma}, \Phi_{b3\sigma}, \Phi_{c1\sigma}, \Phi_{c2\sigma}, \Phi_{c3\sigma}$ , которые в основном сцеплены с создающими их обмотками и индуцируют в них ЭДС рассеяния.

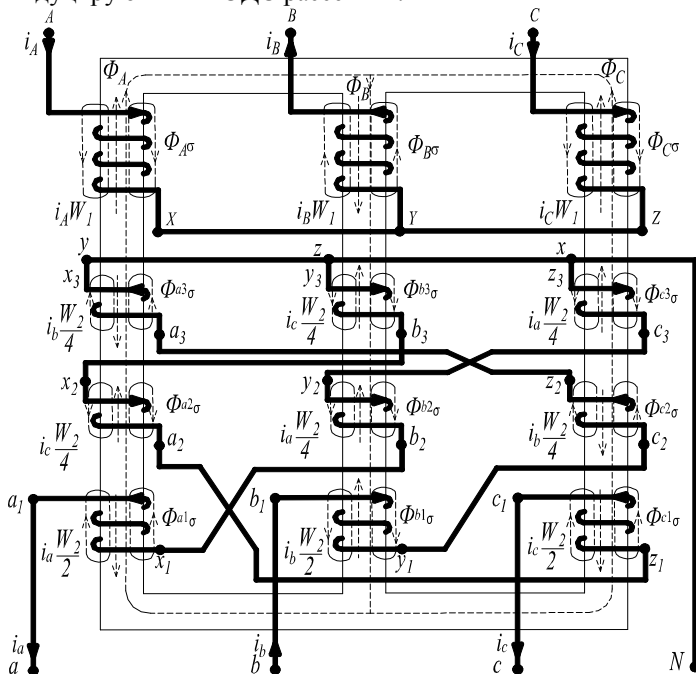


Схема распределения магнитных потоков в трансформаторе

Основной магнитный поток и индуцируемые им ЭДС в обмотках, как и результирующая МДС, не зависят от величины нагрузки трансформатор.

## **Анализ причин снижения надежности электроснабжения предприятий**

Ярошевич Т.М.

Белорусский национальный технический университет

Электропитание промышленных предприятий с незначительной электрической нагрузкой осуществляется, как правило, от электрических сетей напряжением 6-10 кВ. Для питания и распределения электроэнергии на предприятиях используются воздушные и кабельные линии, токопроводы 6-10 кВ по радиальной или магистральной схеме распределения, а в качестве пункта приема электроэнергии используется распределительный пункт. Электропитание крупных промышленных предприятий осуществляется от электрических сетей напряжением 35-330 кВ с пунктом приема электроэнергии главной понизительной подстанции или подстанции глубокого ввода. Глубокие вводы могут выполняться по схемам в виде магистральных воздушных линий передач и радиальных воздушных или кабельных линий. На промышленных предприятиях широко применяются кабельные линии, которые занимают меньше места по сравнению с воздушными. Надежность работы кабельных линий не зависит от ветра, гололеда, загрязненности среды. Выполнять воздушными линиями следует в тех случаях, когда этому препятствуют условия окружающей среды, условия трассы, плотность застройки и т. п. Схема электропитания промышленного предприятия с понижающей подстанцией может быть с различными аппаратами присоединения на высшем напряжении, например, через разъединители; в схеме, в двухтрансформаторной подстанции на высшем напряжении может быть предусмотрена перемычка с двумя разъединителями и выключателем. Самой простой, но наиболее надежной схемой подстанции является схема с подключением через разъединители. Схема подстанции выполнена с короткозамыкателями и отделителями, с перемычкой в распределительном устройстве высшего напряжения и выключателем, позволяющим снизить частоту кратковременных отключений, в отличие той же схемы, но без выключателя, а сама перемычка позволяет в ремонтном или послеаварийном режимах переводить питание трансформаторов на любую из линий, что позволяет удобство эксплуатации понизительной подстанции. Влияющим на выбор схемы электропитания предприятия с теми или иными электроустановками, можно выделить надежность электропитания потребителей, приспособленность к проведению ремонтных работ. Оперативная гибкость, экономическая целесообразность

# **Теплоэнергетика**



**Повышение эффективности работы ТЭЦ на современном этапе**

Романюк В.Н., Бегляк В.В.

Белорусский национальный технический университет

Учитывая ввод в эксплуатацию в Беларуси АЭС в 2018-2020 гг., целесообразным становится исследование по вопросу привлечения ТЭЦ к работе по электрическому графику. В связи с этим приведено сравнение технических решений при реконструкции системообразующих ТЭЦ: конденсационная паровая турбина с теплофикационным и производственным отборами и градирнями для работы в условиях отсутствия тепловых потребителей и «противодавленческая» паровая турбина с производственным отбором, отопительным противодавлением и баком-аккумулятором для работы в условиях отсутствия тепловых потребителей.

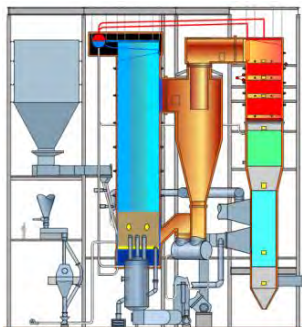
На режимах работы по тепловому графику при номинальной нагрузке удельный расход топлива на производство электрической энергии в случае эксплуатации «противодавленческой» турбины ниже, поскольку турбина такого типа позволяет отказаться от пропуска пара в конденсатор как в межотопительный, так и в отопительный периоды и существенно повысить эффективность за счет снижения расхода пара на турбину. Также положительно скажется отсутствие необходимости использования системы оборотного охлаждения (циркуляционных насосов и градирни), что в конечном итоге приведет к снижению расхода электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ. На режимах работы в условиях отсутствия тепловых потребителей (конденсационный) эксплуатация «противодавленческой» турбины на бак-аккумулятор позволит значительно снизить удельные расходы топлива на производство электрической энергии по сравнению с конденсационной турбиной. Бак-аккумулятор позволит использовать тепловую энергию, которая будет накапливаться в часы дневных максимумов электрической нагрузки, для разгрузки паровой турбины ниже теплового графика с сохранением тепловых нагрузок потребителей в периоды прохождения ночных минимумов электрической нагрузки без постоянных пусков и остановов водогрейных котлов. Это приведет к существенной экономии топлива и сохранению надежности и долговечности работы водогрейных котлов.

«Противодавленческие» одноцилиндровые паровые турбины с реактивным облопачиванием ротора обеспечивают высокую эффективность в широком диапазоне нагрузок, поскольку барабанный ротор менее чувствителен к быстрой смене нагрузок. Такое техническое решение может позволить существенно повысить маневренность и эффективность работы оборудования ТЭЦ.

**Возможности сжигания нефтяного кокса в котельных установках**

Бегляк А.В., Васильев А.В., Бегляк В.В.

Белорусский национальный технический университет



В настоящее время ведется модернизация ОАО «Нафтан» с целью увеличения глубины переработки нефти до 90%. В рамках этого мероприятия идет строительство комплекса замедленного коксования, побочным продуктом которого будет нефтяной кокс (около 55 т/ч).

Наибольшее распространение в мировой практике при сжигании нефтяного кокса имеет использование его в виде топлива на котлах с циркулирующим кипящим слоем (рисунок). Котел с ЦКС

Этот вид топлива имеет как преимущества (высокая теплота сгорания топлива, низкая зольность и др.), так и недостатки (высокое содержание серы и высокое содержание тяжелых металлов в золе).

С целью подавления образования окислов серы на выходе из котла имеется возможность: а) добавление в качестве инертного материала в топку известняка или доломита. В результате будет образован дополнительный продукт – гипс, который может быть использован в строительной отрасли; б) использование так называемой «мокрой технологии» очистки (например, SNOX™), дополнительным продуктом которой становится жидкая серная кислота. Исходя из теплотворной способности нефтяного кокса ( $Q_n^p \approx 31,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ) для утилизации нефтяного кокса ОАО «Нафтан» может быть использована котельная установка мощностью около 460 МВт, что позволит снизить сжигание природного газа примерно на 420 млн м<sup>3</sup>/год.

Наиболее интересным видится решение по установке котла на существующей Новополоцкой ТЭЦ, который работал бы на общий паровой коллектор. Такое решение позволит минимизировать капитальные затраты на внедрение объекта, обеспечить максимальную загрузку оборудования в теплофикационном режиме, обновить котельное оборудование изношенной Новополоцкой ТЭЦ, а также снизить потребление природного газа на станции.

В тоже время срок окупаемости сильно зависит от стоимости нефтяного кокса от ОАО «Нафтан» и может достигать значений от 3 до 15 лет.

## Развитие крупных ТЭЦ энергосистемы Беларуси в условиях совместной работы с АЭС

Бобич А.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях энергосистемы, где в составе генерирующих мощностей доминируют тепловые электростанции, комплекс проблем, возникающий в связи с вводом в состав энергосистемы АЭС, чрезвычайно актуален. Важнейшей задачей является сохранение достигнутых ТЭП энергосистемы и повышение маневренности ТЭЦ, поскольку КЭС вытесняются из числа мощностей, востребованных балансом спроса и генерации электроэнергии. Использование КЭС продиктовано лишь необходимостью регулирования частоты и обеспечением надежности эксплуатации энергосистемы. В этом случае очевиден перерасход природного газа (ПГ), что целесообразно блокировать. Обозначенная задача в условиях энергосистемы страны чрезвычайно актуальна, для ее решения необходимо определить и оценить варианты мероприятий по изменению тепловых схем ТЭЦ для повышения и их маневренности, и эффективности при сохранении отпуска теплоты потребителям без привлечения пиковых источников прямого сжигания топлива, с уменьшением удельного расхода топлива на генерацию электроэнергии.

Комплекс мероприятий включает утилизацию с помощью абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов (АБТН) всех низкотемпературных тепловых потоков и непосредственно ТЭЦ, и промышленных предприятий сопряженного промузла; переход к высокотемпературным ГТУ надстройкам на основе сбросной схемы сопряжения с энергетическими котлами, аккумулярование тепловой энергии, стабилизации параметров ГТУ в летний период. Основные итоги: АБТН на ТЭЦ за счет утилизации теплоты системы охлаждения снизить мощность генерации в целом по энергосистеме до 0,15–0,2 ГВт при снижении УРТ на отпуск электроэнергии до 30 г/(кВт·ч). За счет утилизации теплоты охлаждения дымовых газов до 30 °С возможно дальнейшее снижение мощности и потребления ПГ. Использование ГТУ по сбросовой схеме на ТЭЦ общей мощностью 0,3 ГВт позволит изменять мощности ТЭЦ в диапазоне от 0,15 до 0,3 ГВт. Установка тепловых аккумуляторов на ТЭЦ позволит загрузить ТЭЦ на 0,4 ГВт в дневное время и соответственно разгрузить до 1 ГВт в ночное время без перерасхода топлива.

Годовая системная интегральная экономия условного топлива составит до 0,7 млн т. Показатели термодинамической эффективности энергосистемы восстанавливаются до существующего высокого уровня.

## Газификация нефтяного кокса и сжигание на ПГУ

Бегляк А.В., Ильяков Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Альтернативным решением прямому сжиганию нефтяного кокса является его газификация с последующим сжиганием газа.

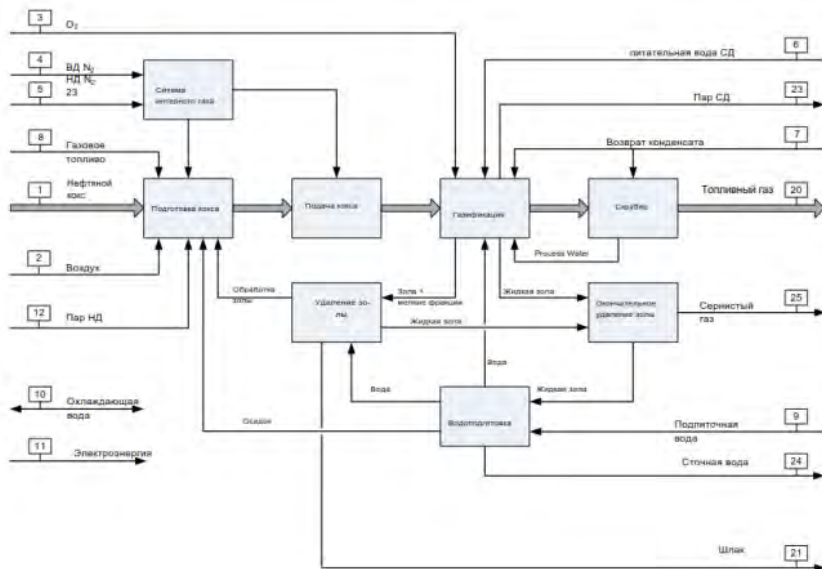


Схема газификации

При газификации основной проблемой является низкая зольность топлива (около 0,5%), в то время нормальной работы процесса необходима зольность порядка 8%. С целью достижения указанной величины исходное топливо может смешиваться с высокозольными видами топлива (бурый уголь, фрезерный торф и др.) или добавляться зола от твердотопливных электростанций, а также обычный песок.

Еще для обеспечения процесса газификации потребуется: кислород, азот низкого и высокого давления, небольшое количество пилотного (газового топлива), воздух, пар низкого давления, охлаждающая вода и питательная вода; продуктами будут: топливный (синтез) газ, пар среднего давления, а отходами: сернистый газ, сточная вода и шлак.

## Исследование динамических систем аккумулирования ЭЭ на базе ПСУ

Матявин А.А., Шкловчик Д.И., Седнин А.А.

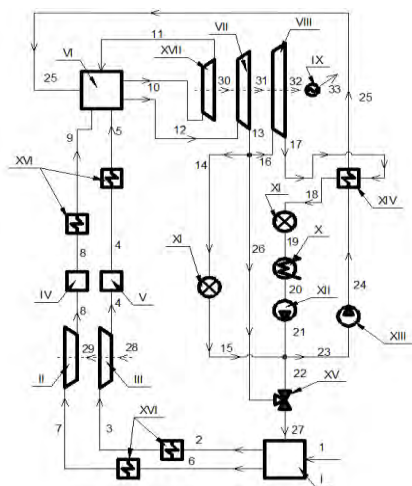
Белорусский национальный технический университет

Одной из явных тенденций, характерной для мировой энергетики, является рост использования возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе, при этом доля атомной энергетике остается условно постоянной. Большинство действующих возобновляемых энергоисточников (в первую очередь ветро и солнечные установки), из-за своей специфики не способны обеспечивать постоянную выработку, что делает актуальным поиск различных решений по созданию систем аккумулирования энергии.

В настоящее время использование водорода осуществляется в трех направлениях: 1. Использование водорода в топливных элементах. 2. Повышение параметров пара на действующих установках. 3. Сжигание водорода в кислородной или воздушной среде в самостоятельных установках.

Последнее представлено на рисунке.

I – Электролизер, II – компрессор для водорода, III – компрессор для кислорода, IV, V – баки аккумуляторы, VI – камера сгорания, XVII – цилиндр высокого давления, VII – цилиндр среднего давления (ЦСД), VIII – цилиндр низкого давления (ЦНД); IX – генератор, X – конденсатор, XI – тепловой потребитель, XII, XIII – насосы для воды; XIV – теплообменник, XV – смешительный теплообменник, XVI – теплообменники для охлаждения водорода и кислорода



Для исследуемой схемы коэффициент процесса аккумулирования составил 34 %. Сравнивая данную систему с гидроаккумулирующими станциями следует отметить несколько положительных моментов:

- 1) компактность;
- 2) Объем аккумулируемой энергии;
- 3) Возможность накопления как ЭЭ так и ГЭ.

К минусам относится достаточно низкий коэффициент аккумулирования (ГАС имеют порядка 60 %), а также несовершенство знаний в процессах горения водорода.

**Адаптация существующего микротурбинного оборудования  
для ГТУ с внешним подводом теплоты (ГТВПТ) на биомассе  
для условий Беларуси**

Мясникович В. В.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день испытание временем выдержали три производителя микротурбинных установок.

На основе исследований, проводимых Igersoll Rand, в 2010 году была образована компания Flex Energy, которая сегодня готова предоставить потребителям одноименные микротурбинные установки мощностью 250 кВт и 333 кВт.

Брэнд Turbес за прошедшее десятилетие претерпел не самые лучшие времена, однако сегодня, перейдя под управление компании Ansaldo Energia (Италия), установки ТА 100 вновь отыгрывают свои позиции на мировом рынке.

Основной продукцией Capstone Turbine Corporation долгое время являются установки мощностью 65 кВт и 200 кВт.

Большинство опытных образцов ГТВПТ было реализовано с помощью установки Turbес ТА100. Компания Ansaldo Energia, владея этой технологией и используя ранее проведенные научные исследования, предлагает микротурбинные установки АЕ-Т100Е с внешним подводом теплоты. Пожалуй, сегодня, это единственная коммерчески готовая установка ГТВПТ.

Компания Flex Energy открыто не заявляет об установках ГТВПТ на биомассе как готовом продукте, однако имеет два реальных объекта в Германии на базе микротурбины МТ250 (Regawatt, Gammel Engineering), а также имеет ряд объектов, имеющих конструктивно вынесенную камеру сгорания – реактор-окислитель для сжигания сверхнизкокалорийного газа. При персональном подходе к решению проблемы компания Flex Energy готова к реализации объектов ГТВПТ на биомассе.

Вывод: Компании Ansaldo Energia и Flex Energy готовы реализовать объекты, работающие на ГТВПТ установках на биомассе.

## Исследование эффективности работы вихревого теплогенератора

Иокова И.Л., Тарасевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Вихревой теплогенератор (ВТГ) – автономный источник теплоснабжения промышленных, административных и жилых зданий, подогрева жидкостей, разделения некоторых из жидких смесей (вода, масло и т. д.).

Эффективность ВТГ можно оценить коэффициентом преобразования энергии (КПЭ). КПЭ – это отношение количества тепловой энергии, которую он производит, к количеству потребляемой электрической энергии. Опыты, проводимые в ряде научно-исследовательских организаций (в том числе НАН Украины, МЭИ, БНТУ), показали, что КПЭ может превышать 1.

Авторами были выполнены серии натурных экспериментов для определения эффективности работы вихревого теплогенератора марки ВТГ-2,2 на разных режимах работы. Опыты проводились на базе кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета.

Экспериментальная установка включает сам ВТГ, бак-накопитель, отопительные приборы, насос, измерительные приборы. Вихревой теплогенератор представляет собой электродвигатель и специальную насадку, непосредственно в которой и происходит процесс подогрева воды. Измерялись температуры: на входе и на выходе в ВТГ, а также на входе и на выходе из отопительных приборов, которые соединены параллельно. Также измерялся общий расход теплоносителя на отопительные приборы в установке.

В данных экспериментах бак-накопитель был отключен. Его использование планируется в дальнейшем при продолжении изучения работы системы теплоснабжения с применением современных источников теплоснабжения.

В ходе экспериментов изменялась частота вращения насадки ВТГ, основа работы которого заключается в явлении кавитации. Частота вращения изменялась и равнялась соответственно: 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 Гц.

Результаты обработки экспериментальных данных показали, что эффективность работы вихревого теплогенератора возрастает с увеличением частоты вращения насадки ВТГ от 36,9 % при 10 Гц до 54 % при 40 Гц.

**Принципиальные гибридные схемы центральных тепловых пунктов**

Шкляр И.В., Бубырь Т.В.

Белорусский национальный технический университет

Учитывая основные тенденции развития систем централизованного теплоснабжения (СЦТ), а также строительство Белорусской АЭС следует более пристально взглянуть на проблему модернизации центральных тепловых пунктов (ЦТП). Основной проблемой, которая возникает при интегрировании АЭС в энергосистему является регулирование суточного графика электрических нагрузок.

Традиционно функциональную роль ЦТП является распределение и регулирование тепловых нагрузок между системами отопления и горячего водоснабжения. Предлагается добавить ЦТП функции производства и аккумулирования тепловой энергии. С этой целью рассматривается установка на ЦТП дополнительно электроподогревателей (ЭК), аккумуляторов теплоты (АТ) и тепловых насосов (ТН). В данном случае можно рассматривать варианты загрузки АТ: горячей водой или теплоносителем. Первый вариант достаточно прост для реализации и предполагает расчет объема атмосферного АТ. Более интересен для исследования второй вариант. Это объясняется большей гибкостью схемы, возможностью работы аккумулятора теплоты под давлением (без свободного доступа воздуха) и уменьшения его рабочего объема. Кроме того, этот данный вариант позволит осуществить корректировку температурного графика тепловой сети в сторону понижения, к чему уже давно стремятся и за рубежом.

Рассмотрен ряд вариантов принципиальных схем гибридных ЦТП с различным набором технологического оборудования. Работа АТ предусматривалась в реверсивном режиме: при заряде – теплоноситель с входа АТ направляется на ЭК и затем на выход АТ для его зарядки, при этом холодный теплоноситель из АТ вытесняется в обратный теплопровод тепловой сети, при разряде – холодный теплоноситель из обратного теплопровода тепловой сети вытесняет из АТ горячий теплоноситель, который направляется на БТ ГВС. Дополнительно для работы в дневное время летнего периода ЦТП оснащается предустановленным теплообменником (ДП) для подогрева холодной воды, поступающей в систему ГВС. При более глубокой интеграции с энергосистемой данная схема позволяет реализовывать работу ЦТП по электрическому графику энергосистемы (теплоэлектроцентрали к которой подключено ЦТП).



## **О прогнозировании объемов энергопотребления предприятия агропромышленного комплекса**

Абразовский А.А., Седнин А.А.

Белорусский национальный технический университет

Прогнозирование объемов энергопотребления для различных субъектов хозяйствования является важной задачей при научном обосновании выбора типа и характеристик энергоцентра [1]. В ходе исследования выполнен анализ схемы энергопотребления для вертикально-интегрированного предприятия агропромышленного комплекса, на основании которого разработан алгоритм определения объемов потребления ТЭР с использованием имитационного моделирования на нейросетевых моделях.

Рассмотрены подходы решения задачи прогнозирования объемов потребления энергии объектами агропромышленной отрасли. В качестве примера рассмотрен комплекс по производству мясных продуктов в виде последовательной цепочки технологического процесса зерносушильного комплекса с комбикормовым цехом, комплекса содержания скота и мясоперерабатывающего предприятия. Так как единицы измерения продукции материальных потоков в подсистемах различны (тонна зерна, тонна комбикорма, тонна мяса, тонна колбасных изделий и пр.) соответственно различаются и единицы измерения удельного расхода ТЭР. Поэтому для прогнозирования процессов энергопотребления и планирования норм расхода (ТЭР) интегрированных энергетических систем с широкой номенклатурой продукции следует применять условную единицу продукции. В качестве условной единицы была выбрана одна тонна мяса живым весом.

Для определения зависимостей для прогнозирования электропотребления предприятия в дальнейшем использовалась методика нейросетевого прогнозирования. Результаты исследования позволили разработать методику определения прогнозных объемов энергопотребления вертикально-интегрированного предприятия АПК с использованием имитационного моделирования.

### **Литература**

Несенчук, А.П. Энергоснабжение предприятия мясоперерабатывающей отрасли за счет утилизационной теплоты ВЭР компрессорной станции магистрального газопровода / А. П. Несенчук, А.А. Абразовский // Известия вузов. Энергетика. – 2013. – № 6 . – С.32-36.

УДК 621.1; 62-637.8

**Комплексный анализ процессов горения комбинированного многофазного органического топлива в турбулентных потоках камер сгорания сложной геометрии**

Ярмольчик М. А.

Белорусский национальный технический университет

Целью исследования является комплексный анализ процессов горения комбинированного многофазного топлива в турбулентных потоках камер сгорания сложной геометрии при повышении энергоэффективности и экологической безопасности процессов сжигания. Особенности исследований состоят в применении комбинированного многофазного топлива в турбулентных потоках камер сгорания сложной геометрии и разработке технологических режимов, обеспечивающих стабильное функционирование и эффективную безопасность эксплуатации энергогенерирующих устройств. Разработана математическая модель газодинамических развитых турбулентных потоков в камерах сгорания сложной геометрии, включающая систему дифференциальных уравнений движения турбулентных комбинированных газовых потоков, уравнение энергии и кинетическое уравнение горения. Проведен численный эксперимент, позволяющий установить оптимальные параметры стабильного функционирования процессов горения без отрыва пламени с вторичными турбулентными потоками, обеспечивающими значительное снижение вредных веществ ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$  и др.) в дымовых газах. Разработана практическая монограмма, устанавливающая связь между основными параметрами процессов смешения различных фаз топлив и окислителя при изменении их динамических давлений, входящих температур и расходов. В результате проведенных исследований разработана методика, позволяющая в оперативном режиме проводить пуско-наладочные работы для организации стабильного и чистого горения многофазного топлива в камерах сгорания сложной геометрии.

В результате проведенного комплексного анализа процессов горения были рассмотрены варианты комбинированного органического дуотоплива типа жидкое-газообразное, жидкое-твердое, твердое-газообразное, а также триа-топлива жидкое-газообразное-твердое, рассмотрены случаи прямооточных топок, а также топок с обратными потоками дымовых газов, в том числе с целью снижения выбросов вредных веществ (прежде всего  $\text{NO}_x$ ). Определены предельные значения  $\text{NO}_x$ , исходя из огневой мощности камеры сгорания, рассмотрены методы пересчета количества вредных веществ из мощностных ( $\text{мг/кВтч}$ ) на объемные ( $\text{мг/м}^3$ ) единицы.

**Система обогрева пеленального столика в условиях  
медицинского учреждения**

Малоед А.С.

Белорусский национальный технический университет

Одним из важнейших условий ухода за новорожденными детьми является обеспечение нейтральной температурной среды. Теплопотеря у новорожденного ребенка в первые минуты жизни происходит в основном за счет испарения с кожи. В дальнейшем более важными механизмами потери тепла становятся – конвекция, теплопроводность, тепловое излучение. Развитие холодового стресса приводит к увеличению заболеваемости и смертности новорожденных. Поэтому мероприятия по обеспечению адекватного температурного режима важны как в первые минуты жизни ребенка, так и в течение всего раннего неонатального периода. В ходе исследования систем обогрева для новорожденных решаются следующие задачи:

- анализ существующих систем обогрева рабочих поверхностей медицинского оборудования, на которых располагаются пациенты;
- разработка энергоэффективных технических решений для систем обогрева пеленального столика;
- разработка математических моделей и численное исследование систем обогрева пеленального столика;
- исследование эффективности применения обогрева пеленального столика.

Сущность исследования заключается в поиске и научном обосновании технических решений по созданию и применению систем обогрева рабочих поверхностей медицинского оборудования, на которых располагаются пациенты, в частности, пеленального столика, в ходе исследования процесса теплообмена организма ребенка с окружающей средой в условиях медицинского учреждения при заданных параметрах микроклимата помещения.

На основании полученных результатов разработаны методические рекомендации по конструированию систем обогрева рабочих поверхностей медицинского оборудования, на которых располагаются пациенты.

## Системы утилизации органических отходов термолитическим методом

Седнин В.А., Гуторов М.С., Шкловчик Д.И.  
Белорусский национальный технический университет

Целью проведенных исследований являлась систематизация и анализ эффективности технических решений для реализации процесса термолиза термически нестойких органических материалов. В ходе исследований были выполнен анализ существующих технологий переработки термически нестойких органических материалов и анализ кинетических свойств и результативности процессов термолиза промышленных и бытовых отходов, проведено математическое моделирование процессов термолиза термически нестойких органических материалов и технико-экономическое исследование эффективности применения технологии термолиза для разложения термически нестойких органических материалов с целью получения жидкого топлива.

Сущность исследования заключается в поиске и научном обосновании технических решений по созданию технологической установки для разложения термически нестойких органических материалов методом парового термолиза с целью получения жидкого топлива. Показано, что использование парового термолиза бытовых и промышленных отходов позволяет получить высококалорийные топливные компоненты в различных соотношениях.

Выполненные исследования позволяют утверждать, что для получения наибольшей эффективности предлагаемой системы необходимо учитывать температурный режим работы установки (400, 450, 500 °С), фракционный состав перерабатываемых отходов (отсутствие балластных компонентов, равномерность измельчения), время пребывания частиц отходов в реакторе. В плане получения жидкого топлива наиболее предпочтительным является процесс парового термолиза полимеров и пластмасс. Выход жидкой фракции при переработке пластика достигает 78% от перерабатываемой массы. Для других рассматриваемых видов отходов выход жидкой фракции находится на уровне 20-28%, в зависимости от температуры процесса. Калорийность получаемого топлива изменяется в пределах 38-48 МДж/кг и соответствует печному бытовому топливу. Жидкая фракция является наиболее удобной в транспортировке и хранении, поэтому ее получение является приоритетной задачей при разработке технологических решений по процессам парового термолиза.

<sup>1</sup>Есьман Р. И., <sup>2</sup>Ярмольчик Д. Ю.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

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

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

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

**Теплоэнергетическая система промышленных предприятий  
в современных условиях**

Муслина Д.Б., Янчук В.В.

Белорусский национальный технический университет

Условия хозяйствования требуют более сложной организации теплоэнергетической системы промышленного предприятия (ТЭСПП), без чего невозможно дальнейшее снижение энергоемкости ВВП в рамках существующих теплотехнологий.

Современная ТЭСПП, кроме надежности энергообеспечения производства, должна отвечать требованиям энергетической и экономической эффективности. Энергетическая эффективность достигается за счет подавления потерь эксергии, которое обеспечивается интеграцией в структуру ТЭСПП различных систем, из которых в качестве наиболее известных можно привести теплотехнологические когенерационные комплексы (КК). В итоге имеет место усложнение ТЭСПП, требующие иерархического построения, как для выполнения стадии эскизной проработки и проектирования, так и для успешной эксплуатации. На стадии проектирования требуется учесть все аспекты теплотехнологического процесса, соответствующее инженерное обеспечение новых систем, интегрированных в ТЭСПП, необходима адаптация технологического процесса к структуре генерации теплоносителей и, наконец, согласование графиков генерации и потребления тепловой и электрической энергии.

Характерным и ярким примером усложнения ТЭСПП является ряд предприятий легкой промышленности. Теплотехнологическое потребление предприятий текстильной отрасли, в основном, связано с процессами промывки и сушки, крашения, прессования и отбеливания материалов. При этом обнаруживаются востребованность тепловой энергии только с паровым теплоносителем и чрезвычайно неравномерный характер потребления тепловой энергии. В этой связи требуется интеграция в ТЭСПП тепловых аккумуляторов пара и воды, а также изменение структуры потребления тепловой энергии с тем, чтобы увеличить удельный вес водяных теплоносителей до 50 %.

Подобные изменения ТЭСПП является необходимым условием перехода предприятий к энергетически совершенному энергообеспечению, сопровождающемуся системной экономией условного топлива до 1,5 тыс. т в год на 1 МВт электрической мощности КК и улучшению финансового положения предприятия за счет существенного сокращения расходов на энергетическое обеспечение.

**Использование пиролизных технологий для утилизации отходов деревообработки и твердых отходов в когенерационных установках**

<sup>1</sup>Ярмольчик Ю. П. <sup>2</sup>Веженков И.В.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
<sup>2</sup>ЗАО ЭТС «Машиностроительный завод» СПб, Российская Федерация

В качестве исходного поршневого двигателя для газогенераторной энергоустановки можно выбрать любой широко распространенный дизель, переведенный на газодизельный процесс и снабженный адаптивной (самонастраивающейся) системой регулирования подачи газового топлива в дизельный двигатель, позволяющая менять соотношение между газовым и жидким топливом в зависимости от количества и качества газового топлива и нагрузки, поданной на двигатель. При этом сохраняется возможность работы по дизельному циклу. Отличительной особенностью данной системы является то, что рейка топливного насоса высокого давления не фиксируется при переходе на газодизельный цикл, а остается свободной. Сам этот переход осуществляется открытием газовой магистрали и началом подачи в двигатель газового топлива. При этом не требуется снижение мощности двигателя, система поддерживает заданный режим в зависимости от количества подводимого газа и его теплотворной способности, меняя соотношение дизельного топлива и газа. При снижении нагрузки на двигатель до режима холостого хода газовая заслонка закрывается полностью, и работа двигателя осуществляется на дизельном топливе. Во время работы двигателя под нагрузкой в случае снижения количества подаваемого газа или изменения состава газа система поддерживает заданный скоростной режим работы добавлением необходимого количества дизельного топлива. Благодаря принятой схеме регулирования приемистость газодизеля, несмотря на инерционность газового тракта, соответствует приемистости дизеля.

Переход двигателя на работу по чисто дизельному циклу осуществляется путем отключения подачи газового топлива. Газовым топливом при работе агрегата на номинальном режиме замещается 70-75% жидкого нефтяного топлива.

Теплотворная способность данного топливного газа составляет 1000-1350 ккал/м<sup>3</sup>. Он пригоден для использования в топках существующих газовых и жидкостных котлов, специальных топочных устройствах и в сушильных камерах для выработки тепловой энергии, а также в поршневых двигателях, электроагрегатов взамен традиционных нефтяных жидких топлив для выработки электроэнергии.

## Системы аккумулирования энергии

Матявин А.А., Шкловчик Д.И., Прокопеня И.Н.  
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время во многих странах все чаще просматривается тенденция, направленная на увеличение доли возобновляемой энергии в энергетическом балансе, в первую очередь как альтернатива ядерной и угольной энергетике. Однако, большинство возобновляемых энергоисточников не способны обеспечивать базовую нагрузку энергопотребления из-за специфики выработки ЭЭ, что делает крайне актуальным поиск различных технических решений по созданию систем аккумулирования энергии. Со схожей проблемой также сталкиваются страны с высокой долей атомной энергии в энергетическом балансе, для которых системы аккумулирования энергии необходимы для выравнивания загрузки АЭС. Именно такую задачу необходимо будет решать в Республике Беларусь, в связи с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС. Существующие способы хранения электроэнергии в аккумуляторах разных видов (свинцово-кислотные аккумуляторы, емкостные аккумуляторы и т. д.) сегодня применяются для малых мощностей (менее 1 МВт). Газовоздушные аккумулирующие станции, в которых в качестве аккумулирующей энергии среды является сжатый воздух на сегодняшний день не получили широкого применения, ввиду их сложности.

Наиболее широко используются гидроаккумулирующие станции, но для их реализации требуется наличие соответствующего рельефа местности вдоль русла реки, предполагающего требуемый перепад высоты и возможность затопления необходимых площадей. Таким образом актуальным является поиск новых технологических решений для систем аккумулирования электроэнергии. В последнее время все больше внимания уделяется активным (динамическим) системам с применением водорода и синтез-газа. В случае избытка выработки электроэнергии возможно получение водорода путем электролиза воды. В дальнейшем водород может быть использован непосредственно в виде топлива в энергетических установках, либо для производства синтетического природного газа. Применение водородоаккумулирующих электрогенерирующих установок считается перспективным в плане того, что в результате горения водорода в чистом кислороде образуется водной пар, который является наиболее распространенным рабочим телом в теплоэнергетике. При этом, теоретически, можно исключить необратимые потери эксергии со стороны горячего источника цикла, так как исключаются процессы теплообмена между горячим источником и рабочим телом. Кроме того, представляется возможность производства электрической и тепловой энергии без вредных выбросов в атмосферу.



**Анализ тенденций использования различных видов топлива  
на тепловых электростанциях**

Седнин А.В., Вашилов А.С.

Белорусский национальный технический университет

Энергетическая безопасность является одним из ключевых вопросов для Республики Беларусь. Широкое применение местных видов топлива, в частности торфа на электростанциях республики Беларусь является одним из приоритетных направлений для ее повышения. Анализ закономерностей торфяных месторождений Республики Беларусь показал, что для топливно-энергетических целей возможно применение 3,33 млрд. т торфа, что свидетельствует о значительных возможностях для развития энергетической отрасли на базе торфяных ресурсов при условии их использования по современным и инновационным технологиям.

Глобальное формирование цен на первичные источники энергии под действием различных факторов, в том числе и спекулятивных, заставляет задумываться о создании электростанций нового уровня – многотопливных, что позволило бы использовать как местные, так и импортируемые источники энергии в зависимости от рыночных условий. По-нашему мнению, достаточная неустойчивость торфа по экономическим и физическим соображениям в комплексе налаживает определенные трудности для выбора его в качестве основного вида топлива.

Цены на традиционные энергетические ресурсы будут иметь тенденцию к росту, несмотря на временные колебания под влиянием глобальных факторов. Стоимость традиционных топлив, таких как газ и мазут будет определяться также затратами на производство синтетических топлив на базе угля, природного газа или биомассы; производства, транспорта и использования заменителей природного газа как энергоносителя (электроэнергии на базе ядерной энергии или возобновляемых источников, водорода и др.), стоимость которых будет снижаться по мере их освоения и развития.

По-нашему мнению, соотношение между газом и углем в этом случае будет определяться не столько складывающейся конъюнктурой цен, сколько соотношением производственных затрат на единицу генерируемой электроэнергии с переходом на передовые технологии совместного использования углей разных марок, торфа и других местных видов топлива, что позволит не только вытеснить из топливно-энергетического баланса страны часть импортируемого газо-мазутного топлива, но и увеличит конкурентоспособность ТЭС за счет топливной гибкости.

**Модернизация водогрейных котлов для систем централизованного теплоснабжения**

Гламаздин П.М., Гламаздин Д.П.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Проблема старения централизованных систем теплоснабжения городов стоит чрезвычайно остро. При этом для разных элементов систем решения по поддержанию систем в работоспособном состоянии могут быть различными: для трубопроводов чаще всего это полная замена пришедших в негодность участков, для абонентских вводов желательна замена морально устаревшего оборудования на современное автоматизированное со сменой схемы присоединения на независимую. Для отопительных котельных может быть использован путь постепенной модернизации оборудования, особенно мощных водогрейных котлов, в связи с дороговизной их замены.

Сам водогрейный котел представляет сложную техническую систему, включающую в себя несколько элементов. Каждый из элементов вносит свою лепту в общую надежность эксплуатации котла и в его энергоэффективность. Анализ результатов модернизации показывает, что большей частью модернизация состоит в первую очередь в замене горелок и системы автоматического управления и оснащения тягодутьевых машин частотными регуляторами. Такой подход оправдан в тех странах, где действуют жесткие нормативы по ограничению вредных выбросов в атмосферу. Если же таких жестких требований к выбросам нет, то приоритеты в очередности модернизации элементов котла могут изменяться. Наиболее быстро окупается устройство утилизаторов теплоты дымовых газов, а затем уже модернизация других элементов котла, вплоть до горелок, кроме котлов серии ПТВМ, у которых большое штатное количество горелок удорожает их оснащение газовой аппаратурой, без которой невозможно глубокая автоматизация работы котла. Котлы этой серии должны модернизироваться не просто заменой горелок, а кардинальным уменьшением их количества и такой положительный опыт имеется. Для котлов разной мощности и разных серий (конструкций) очередность модернизации отдельных элементов оказаться различной. Для определения очередности модернизации авторы предлагают использовать методологию функционально-стоимостного анализа, использование которого позволит разрабатывать оптимальные программы модернизации котлов и котельных в целом.

**Методологические аспекты оптимальной организации атомизации высоковязкого жидкого топлива**

<sup>1</sup>Есьман Р. И. <sup>2</sup>Ярмольчик Д. Ю.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

В последние годы отмечается устойчивый рост интереса к использованию в промышленной и коммунальной энергетике различных видов отходов масел и биологического топлива: животного жира, растительного, прежде всего рапсового, масла, биологического дизельного топлива, глицерина и т. п. Сжигание топлив такого рода сопряжено с рядом специфических факторов. Процессу горения предшествует непосредственный контакт молекул топлива и окислителя. Для воспламенения горючей смеси и поддержания устойчивого горения жидкое топливо перед сжиганием должно пройти ряд последовательных подготовительных процессов, в результате которых топливо будет доведено до «молекулярного» диспергирования (в настоящее время широко применяется термин «атомизация»). Существует три основных способа атомизации жидкого топлива: механический, паромеханический и ротационный. В результате проведенных исследований были определены основные факторы, влияющие на процессы горения. В качестве характерного параметра выбран максимальный диаметр частиц полностью сгорающих в организованном факеле в соответствии с тепловой мощностью для различных видов высоковязкого жидкого топлива. Определены энергетические затраты для атомизации топлив до требуемого уровня дисперсности в зависимости от применяемого метода. В результате получен ряд сравнительных графиков для высоковязких топлив, определяющих энергетические затраты на их подготовку для полного сгорания в зависимости от требуемой тепловой мощности.

В настоящее время проводится ряд исследований, которые позволят создать компьютерную симуляцию процессов диспергирования жидкого топлива в зависимости не только от способа атомизации, но и от характерных параметров, определяющих для каждого способа отдельно, включая скорость вращения ротационного диска, давления подачи топлива, энергии тангенциального подвода топлива в смесительное устройство горелки.

Данный метод позволяет определить оптимальный способ атомизации высоковязкого жидкого топлива в зависимости от его вида и заданной тепловой мощности.

## Увеличение КПД солнечных батарей

Петровская Т.А., Иванова Д.С, Богдан А.А.  
Белорусский национальный технический университет

Один из ключевых критериев при оценке эффективности работы солнечных батарей. Увеличение этого показателя является главной задачей на пути снижения затрат на преобразование солнечной энергии и расширения использования гелиосистем. Низкий КПД солнечных батарей является их основным недостатком. Квадратный метр современных фотоэлементов обеспечивает выработку 15–20 процентов от мощности солнечного излучения, попадающего на него. И это при самых благоприятных условиях эксплуатации. В результате для обеспечения необходимого энергоснабжения требуется установка множества солнечных панелей большой площади. Насколько эффективно такое оборудование и от чего зависит его КПД. На КПД гелиосистем также влияет тип кремния, используемого в фотоэлементах. В зависимости от получения атома кремния их можно разделить на 3 типа: монокристаллические, поликристаллические, панели из аморфного кремния. На эффективность работы солнечных батарей оказывают влияние несколько факторов: температура, угол падения солнечных лучей, чистота поверхности, отсутствие тени, погода.

КПД фотоэлектрических панелей прямо зависит от падающего света, а значит, от чистоты поверхности. Если на поверхности есть загрязнения, то эффективность солнечных батарей будет снижаться.

В последние годы учёные по всему миру заявляют о разработке технологий, увеличивающих КПД солнечных модулей. Так специалисты Sharp разработали фотоэлектрические элементы с эффективностью 43,5 процента. Такое увеличение было получено благодаря установке линзы, которая фокусирует получаемую энергию прямо в элементе.

Немецкие физики представили свой фотоэлемент площадью всего в 5,2 кв. мм, состоящий из 4-х слоев полупроводниковых элементов. Такая технология позволила добиться КПД в 44,7 %. Максимальная эффективность в данном случае также достигается за счет помещения вогнутого зеркала в фокус. Ученые из Стэнфорда разработали новый жаропрочный композит, способный увеличить производительность фотоэлементов. Теоретическое значение КПД составляет около 80 %. Полупроводники, в состав которых входит кремний, способны поглощать лишь ИК-излучение. Так вот действие нового композитного материала направлено на перевод высокочастотного излучения в инфракрасное. Английские ученые разработали технологию, способную увеличить эффективность элементов на 22 %.

Они предложили на гладкой поверхности тонкопленочных панелей разместить наношипы из алюминия. Этот металл был выбран по причине того, что солнечный свет им не поглощается, а, наоборот, рассеивается.

УДК 697.34

### **Перспективы развития систем теплоснабжения**

Седнин В.А., Петюк С.В.

Белорусский национальный технический университет

Системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) являются одним из важнейших элементов энергетического комплекса. СЦТ города или промышленного центра представляет собой сложнейший технический комплекс с разнородным составом теплогенерирующих и теплопотребляющих установок и многообразием схем тепловых сетей, соединяющих первую группу установок со второй.

Рассмотрим основные тенденции, которые характерны сегодня для зарубежных систем теплоснабжения и в разработку которых сегодня вкладываются значительные усилия.

В странах Северной Европы сегодня создаются СЦТ «4-поколения». Исследования, проводимые в последнее время в этих странах, подтвердили технические возможности применения технологий низкотемпературного теплоснабжения, расширение возможностей использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), снижения расхода теплоты на отопление зданий и потерь теплоты в тепловых сетях. В целом отличительными особенностями СЦТ «4-поколения» являются применение технологий низкотемпературного отопления, соответствие элементов СЦТ концепции «умный город», расширение взаимодействия в рамках идеологии этой концепции с системами электроснабжения и газоснабжения и увеличение доли использования ВИЭ. Считается, чтобы СЦТ «4-поколения», обладали системным свойством устойчивости во времени и пространстве, они должны отвечать ряду требований.

- организация возможности подачи низкотемпературной теплоты в контуры систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС) новых и существующих зданий;

- минимизация энергопотерь при транспорте теплоты;
- широкое внедрение систем аккумулирования теплоты, в том числе и создание сезонных хранилищ с использованием ВИЭ;
- развитие структурной функциональности СЦТ;
- вхождение в состав интегральных интеллектуальных энергетических систем, включая системы централизованного хладоснабжения;

- СЦТ должны быть привлекательными с точки зрения стоимости энергии, а также возможности привлечения стратегического финансирования для будущего развития.

УДК 629.735

### **К вопросу многоукладности теплогенерирующих источников систем централизованного теплоснабжения**

Романюк В.Н., Бубырь Т.В.

Белорусский национальный технический университет

В диссертационной работе А.В. Марченко, защищенной в 2008 г. в г. Иваново (Россия), показана возможность транспорта по непроходным каналам теплотрасс вентиляционных выбросов промышленных предприятий для их утилизации в котлоагрегатах ТЭЦ. На первый взгляд, задача нереализуема, прежде всего, из-за проблемы перекачки соответствующего расхода воздуха по непроходным каналам на требуемые расстояния. Однако, в работе показано, что решение обозначенной задачи вполне приемлемо. В этом контексте целесообразно рассмотреть задачу прокачки наружного воздуха по упомянутым каналам для осуществления утилизации с помощью отопительных тепловых насосов для нагрева сетевой воды теплоты: рассеяния от теплотрасс через их изоляцию; охлаждения наружного воздуха; охлаждения грунта. Для использования теплоты охлаждения грунта, в предлагаемом варианте, не требуется сооружения ни непосредственно скважин для отбора теплоты, ни громоздких и сложных в эксплуатации, наконец, в условиях города, дорогостоящих, полей для размещения требуемого числа скважин. Наконец, очевидно, что одновременно решается проблема блокирования потери свойств изоляции в связи с ее возможным увлажнением, поскольку обеспечивается ее непрерывная осушка с помощью воздуха, продуваемого через канал. Все три задачи, обозначенные выше, оказываются взаимосвязаны и имеют решение, для которого неприменима суперпозиция результатов решений автономных подходов к их нахождению. Например, для отвода теплоты охлаждения грунта необходимо не допускать выше его температуры нагрев воздуха, прокачиваемого по непроходному каналу. Для использования теплоты охлаждения наружного воздуха требуется охлаждение его в тепловом насосе ниже температуры окружающей среды. При этом, кроме того, требуется учитывать ограничения, связанные с возможностями и требованиями тепловых насосов, выбором типоразмера и места расположения последних, определению потока теплоносителя, которому возможно передача теплоты и сопутствующего, вспомогательного оборудования.

Сложность задачи достаточна, но в условиях современного энергетического рынка, решение задачи может быть экономически выгодным.

Петровская Т.А., Павлович И.В., Игнатович Р.С  
Белорусский национальный технический университет

Большинство существующих в настоящее время автоматизированных систем диспетчерского управления базируются на SCADA-системах (Supervisory Control And Data Acquisition, диспетчерское управление и сбор данных). Они представляют собой программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий сбор информации в реальном или псевдореальном времени с удаленных объектов для обработки, анализа и возможного управления, а также содержащий набор инструментальных средств, для его разработки. Современные SCADA-системы включают в себя три основных структурных компонента: 1. Удаленный терминал (RTU, Remote Terminal Unit). Может представлять собой как простейшие датчики, выполняющие сбор данных с объекта, так и специализированные отказоустойчивые комплексы на базе микропроцессорных систем, выполняющие обработку информации и управление в real-time режиме. 2. Пункт диспетчерского управления (MTU, Master Terminal Unit). Выполняет основную обработку данных и высокоуровневое управление в режиме псевдореального времени (реже в real-time), а также обеспечение человеко-машинного интерфейса (HMI) между оператором и системой. 3. Коммуникационная система (CS, Communication System) – каналы связи, необходимые для передачи информации с удаленных объектов на центральный диспетчерский пункт и передачи управляющих команд на удаленные терминалы.

Протоколы WebSCADA предоставляют возможность реализации человеко-машинный интерфейса SCADA-систем на основе сетевых технологий. Архитектурно такие системы состоят из сервера и удаленных клиентских терминалов – ПК, операторских панелей, планшетов и смартфонов, выступающих в роли «тонких клиентов». Процесс обработки информации происходит полностью на сервере SCADA-системы, а удаленный компьютер-клиент отвечает лишь за визуализацию данных, с использованием Java, ActiveX, CGI или другой web- технологии. Ключевым преимуществом такого подхода является отсутствие необходимости в установке на клиентской машине копии лицензионного пакета SCADA-системы, работающей на сервере. Среди программных продуктов реализации SCADA-системы можно выделить основные (по степени распространенности): 1. InTouch (Wonderware, США, 2. WinCC (Siemens, Германия, 3. Trace Mode (AdAstra, Россия) – одна из самых покупаемых в России SCADA-система, Как следует из описания систем, все крупные производители программных пакетов для систем диспетчеризации предусматривают возможность применения технологии WebSCADA.

**Методика автоматического определения текущего состояния  
водогрейного котлоагрегата**

Прокопеня И.Н., Власюк Д.И.

Белорусский национальный технический университет

В процессе эксплуатации техническое состояние водогрейных котлоагрегатов ухудшается. Например, ухудшение качества обмуровки может привести к увеличению присосов воздуха и, как следствие, возрастут потери теплоты с дымовыми газами. При этом снизится КПД котлоагрегата относительно его «эталонного КПД». За эталон принимаем КПД данного котлоагрегата, зафиксированный при пусконаладочных работах.

Методика автоматического определения текущего состояния котлоагрегата принципиально состоит из 3-х этапов:

*1. Определение стационарного режима работы котла.* Требования к стационарному режиму:

- продолжительность стационарного режима должна быть больше или равна заданной минимальной продолжительности (например 0,5 часа).

- колебания мощности не должны превышать заданного значения (например 0,5 МВт).

*2. Расчет значения текущего КПД по обратному балансу в конце зафиксированного стационарного периода.* Расчет текущего КПД производится через обратный тепловой баланс котлоагрегата, по методике используемой при пусконаладочных работах. Методика данного расчета позволяет наиболее точно рассчитать текущий КПД котлоагрегата. Это обусловлено тем, что в качестве источников исходных данных мы не используем данные с расходомерных шайб, установленных на газовой линии и линии теплоносителя. За счет этого значительно снижается погрешность измерений. Также, поскольку КПД по данному методу рассчитывается через теплотопотери, а не полезную и затраченную теплоту, то колебания теплоты сгорания и расхода топлива никак не повлияют на точность расчета.

При расчете КПД через обратный баланс используются данные газоанализатора, данные датчика температуры дымовых газов и наружного воздуха, а также данные о текущей мощности котлоагрегата.

*3. Сравнение вычисленного среднего значения КПД с эталонным КПД для данного режима.* В случае, если разница между этими двумя значениями не превышает установленной погрешности – на экран операторской станции выводится сообщение «Работа котла в норме», если разница эталонного и рассчитанного КПД для одного режима превышает заданную погрешность выводится сообщение «Плохая работа котла на мощности N МВт».



**Технологические режимы процессов сжигания мультидисперсного  
твердого топлива в энергогенерирующих устройствах**

Ярмольчик Ю.П.

Белорусский национальный технический университет

Повышение энергоэффективности и безопасности сжигания мультидисперсного твердого топлива в энергогенерирующих устройствах является крупной и сложной задачей, связанной с рядом аспектов как технологического (конструкторские решения), так и научного (теоретического и экспериментального) исследования.

Термодинамический анализ процесса сжигания мультидисперсного твердого топлива в топках и камерах сгорания позволил разработать технологические режимы, обеспечивающие стабильное функционирование и эффективную безопасность эксплуатации энергогенерирующих устройств. Разработана математическая модель процессов распыления и сжигания мультидисперсного топлива, а также газодинамических потоков в камерах сгорания сложной геометрии, включающая систему дифференциальных уравнений движения газовых потоков, уравнение энергии и кинетическое уравнение горения. Численными методами определены оптимальные режимные параметры при различной пропорциональности подачи аксиального и радиального воздуха без снижения мощности горелки, при этом эти же параметры являются определяющими при формировании геометрии:

- тонкое короткое пламя (аксиальный воздух - открыт, радиальный - редуцирован);
- короткое пламя (аксиальный воздух - открыт, радиальный - открыт);
- длинное и мягкое пламя (аксиальный - редуцирован, радиальный - редуцирован);
- длинное и жесткое пламя (аксиальный - редуцирован, радиальный - открыт).

Таким образом, рассмотрев геометрическую конфигурацию камеры сгорания, пространственное распределение технологического продукта (при его наличии) внутри камеры сгорания, аэродинамическое сопротивление (разрежение), требуемое температурное поле, исходя из условий теплопередачи внутри камеры сгорания, а также наличие обратных потоков дымовых газов, применяя предложенную методику можно не только определить требуемую геометрию пламени, но и методы формирования наиболее оптимальной геометрии пламени. Наиболее сложным представляется качественное сжигание твердых частиц относительно большого размера (более 5 мм) при факельном сжигании.

Герасимова А.Г.

Белорусский национальный технический университет

На многих предприятиях тепловых сетей (ТС) Республики Беларусь сложилась ситуация, когда накоплен большой массив ТС со сниженной надежностью, в том числе и отработавших свой срок службы. Чтобы оценивать техническое состояние и остаточный ресурс эксплуатации ТС, своевременно заменять изношенные участки трубопроводов, элементы оборудования и арматуры, своевременно включать объекты в программы ремонта и реконструкции, необходим постоянный мониторинг состояния, который включает в себя самые различные мероприятия и методы.

В настоящее время при оценке состояния тепловых сетей применяются как элементарные визуальные и физические методы, так и высокотехнологичные методики. К визуальным методам относятся обходы и осмотры тепловых сетей, которые проводят регулярно по определенным маршрутам. Физические методы включают в себя температурные и гидравлические испытания. Температурные испытания (на максимальную температуру) проводятся как правило раз в пять лет, гидравлические испытания (опрессовка на прочность повышенным давлением) проводятся ежегодно в период во время плановых отключений горячей воды.

В число перспективных высокотехнологичных методов диагностики тепловых сетей входят: метод *акустической эмиссии*, метод *магнитной памяти металла*, метод наземного тепловизионного обследования с использованием тепловизора, тепловая аэросъемка в ИК-диапазоне, метод акустической диагностики и метод магнитной томографии металла с поверхности земли. Рассмотрены физические основы, методики и условия проведения контроля вышеприведенными методами. Проанализирована статистика по опыту внедрения данных методов на различных отечественных и российских предприятиях тепловых сетей. Установлено, что ряд методов имеет ограничения по применению, связанные с доступностью к местам контроля, качеством контролируемой поверхности, сезонность проведения диагностики, а также с недостаточностью апробации методов и пр. Проведенный анализ показал, что порядка 98 % работ по поддержанию надежности ТС планируются только на основании двух методов: опрессовка повышенным давлением и тепловая аэросъемка в ИК-диапазоне. На сегодняшний день только эти методы позволяют оценивать состояние практически всех имеющихся сетей в приемлемые сроки, и их сочетание позволяет поддерживать надежность ТС на приемлемом уровне.

**Причины коррозионных повреждений тепловых сетей**

Пантелей Н.В., Герасимова А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Тепловые сети являются составной частью системы централизованного теплоснабжения современных городов и представляют собой сложные инженерные сооружения, предназначенные для транспортировки тепловой энергии от источников тепла к потребителям. На сегодняшний день на балансе энергоснабжающих организаций ГПО «Белэнерго», входящего в состав Министерства Энергетики Республики Беларусь, находится более 6500 км тепловых сетей в однотрубном исчислении. Анализ результатов комплексных обследований теплоснабжающих предприятий Республики Беларусь, показывает, что тепловые сети являются на сегодня одним из самых ненадежных элементов системы теплоснабжения города. Имеющиеся стальные трубы не удовлетворяют в полной мере всем предъявляемым требованиям, однако их механические свойства, простота, надежность и герметичность соединений (сваркой) обеспечили им преимущественное применение в тепловых сетях.

В настоящее время основная проблема, встающая при эксплуатации трубопроводов тепловых сетей - коррозия. Она является одним из основных факторов, определяющим надежность эксплуатации систем теплоснабжения. Трубопроводы тепловых сетей подвергаются воздействию как наружной, так и внутренней коррозии.

Основной причиной нарушений в работе тепловых сетей (до 90 %), приводящей к снижению надежности, является локальная наружная коррозия, которая проявляется в виде свищей и разрывов металла сетевых трубопроводов. Наиболее быстро при прочих равных условиях наружной коррозией поражаются те теплопроводы, в которых имеется прямой контакт незащищенной поверхности трубы с грунтом. Кроме того, при эксплуатации тепловых сетей возможны повреждения связанные со срывом неподвижных опор, разрывами корпусов чугунных задвижек, срывом резьбы спускных кранов, с повреждениями компенсаторов и т. д. Существенное влияние на коррозию оказывает возрастная структура тепловых сетей.

Причины, вызывающие сплошную внутреннюю коррозию, также различны. Наиболее частыми причинами являются: неудовлетворительное качество химводоподготовки или «подсос» в тепловую сеть сырой не деаэрированной воды, а так же развитие стояночной коррозии.

**Исследование влияния изменения нагрузки и режима давления пара перед турбиной на динамику энергоблока**

Карницкий Н.Б., Кравченко В.В., Веремейчик Е.Г.  
Белорусский национальный технический университет

Неравномерность графиков нагрузок в энергосистемах вынуждает привлекать крупные энергетические блоки тепловых электрических станций к регулированию частоты и перетоков мощности. Вместе с тем для выбора оптимальной структуры и настройки систем автоматического управления мощности энергоблока, а также определения алгоритмов изменения параметров динамической настройки основных регуляторов в функции расхода пара необходимо знать динамические характеристики основных участков регулирования энергоблока в широком диапазоне изменения нагрузок.

Исследования проводились на газомазутном прямоточном котле ТГМП-314 Лукомльской ГРЭС, работающем в блоке с турбиной К-300-240 ЛМЗ. Энергоблоки ГРЭС работают в диапазоне 100–30 % номинальной мощности с переходом в режим скользящего давления при нагрузках ниже, чем 70 %.

Испытания по определению динамических характеристик объектов определялись для трех уровней нагрузок: от 300–270 МВт при нормальном давлении до 150–120 МВт при скользящем давлении пара перед турбиной.

Определение динамических характеристик энергоблока в виде переходных характеристик по мощности и давлению пара перед турбиной проводилась при возмущении суммарной нагрузкой котла ( $\mu_k$ ), т. е. согласованной подачей топлива, воздуха и питательной воды, а также перемещением регулирующих клапанов турбины ( $h_{pk}$ ), определяемым по давлению рабочей жидкости под золотником сервомоторов турбины.

Анализ динамических характеристик моноблока 300 МВт Лукомльской ГРЭС (котел ТГМП-314 и турбина К-300-240 ЛМЗ) в широком диапазоне изменения нагрузок в режиме постоянного и скользящего давления перегретого пара перед турбиной при возмущении нагрузкой котла, а также перемещением регулирующих клапанов турбины показал нелинейную зависимость параметров передаточных функций по мощности и давлению от уровня нагрузки энергоблока. При этом в диапазоне от 100 до 70 % динамика объекта изменяется несущественно, а в диапазоне от 70 до 30 % в режиме скользящего давления пара динамика энергоблока по мощности и давлению изменяется существенно, ухудшаясь с уменьшением нагрузки. Этот фактор необходимо учитывать при синтезе оптимальной структуры и выборе динамической настройки САУМБ.

## Усовершенствование комбинированной САУ уровня воды в барабане парового котла

Кулаков Г.Т., Кухоренко А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем  
чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь

Типовая трехимпульсная САУ уровня воды в барабане парового котла не обеспечивает требуемого качества регулирования при глубоких возмущениях нагрузки котла. Для существенного улучшения качества поддержания уровня воды в барабане котла при глубоких изменениях нагрузки предложена усовершенствованная комбинированная САУ, основанная на экспресс-методах структурно-параметрической оптимизации динамических систем с использованием принципа инвариантности по уровню при обработке внешнего возмущения расходом перегретого пара. Усовершенствованная САУ реализована на базе каскадной системы автоматического регулирования. При этом структуру стабилизирующего регулятора (СР) выбирают на основе передаточной функции оптимального регулятора по динамике опережающего участка (выход: расход питательной воды; вход: перемещение регулирующего питательного клапана), на вход которого падают корректирующий сигнал с коэффициентом передачи опережающего участка объекта  $k_{оп}$ . Причем параметр динамической настройки СР выбирают равным постоянной времени опережающего участка объекта регулирования. В результате чего выход корректирующего регулятора (КР) совпадает с регулирующим воздействием СР.

Структура КР представлена фильтром, охваченным положительной обратной связью с передаточной функцией модели основного участка регулирования (выход: уровень воды в барабане; вход: перемещение регулирующего питательного клапана). При этом передаточная функция фильтра представляет отношение заданной передаточной функции системы к передаточной функции основного участка регулирования. На вход КР, кроме выходного сигнала уровнемера, поступает сигнал промера через усилитель с коэффициентом передачи, равным величине статической ошибки регулирования по уровню при возмущении расходом пара с учетом знака. На третий вход СР через усилитель  $k_{оп}$  поступают минусовые сигналы с выходов блока формирования производной Derivative, на вход которого поступает разность передаточных функций явления набухания уровня.

**Структурно-параметрическая оптимизация САР температуры перегретого пара за котлом**

Маркова А.А., Кулаков Г.Т.

Белорусский национальный технический университет

Оптимизация САР температуры пара за котлом проведена на базе каскадной системы. При этом стабилизирующий ПИ-регулятор (СР) настраиваем на оптимальную обработку задающего сигнала по температуре перегретого пара за местом впрыска при условии, что время интегрирования полностью компенсирует постоянную времени передаточной функции опережающего участка (ОУ) в виде реального пропорционального звена, а коэффициент передачи СР будет равен  $1/\kappa_{on}$ , обратно пропорционален коэффициенту передачи ОУ. Между корректирующим оптимальным регулятором (КР) и СР дополнительно устанавливают усилитель с коэффициентом усиления  $\kappa_{on}$ . При этом внутренний контур СР при обработке скачка задания по температуре пара за котлом превратится в единицу, т. е. выходные сигналы КР и СР будут равны. Это позволяет структуру КР определить только по передаточной функции главного участка (ГУ), где вход – величина открытия регулирующего клапана, %; выход – температура пара за котлом, °С, на основе передаточной функции оптимального регулятора с одним параметром динамической настройки, учитывая максимально допустимую величину регулирующего воздействия и требуемое быстродействие при обработке задания. Для существенного улучшения качества обработки внешнего возмущения дополнительно измеряют расход перегретого пара и выход паромера через последовательное соединенные устройства компенсации (УК) внешнего возмущения и дополнительный усилитель  $\kappa_{on}$  подают на второй вход СР. При этом переход на другую нагрузку котла осуществляется с задержкой на время запаздывания  $\tau_y$  по каналу регулирующего воздействия, следовательно воздействие на УК осуществляется на время  $\tau_y$  раньше изменения плановой нагрузки котла. Структуру УК находят из условия инвариантности изменения температуры пара за котлом по двум каналам: передаточная функция крайнего внешнего возмущения с учетом  $\tau_y$  и произведения передаточной функции УК, коэффициентом усиления  $\kappa_{on}$  и ГУ объекта регулирования.

Модифицированная САУ позволяет существенно улучшить качество обработки всех воздействий: задающих, внутренних и внешних возмущений.

**Модернизация систем автоматического управления мощностью энергоблока**

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

Современные системы автоматического управления мощностью энергоблоков (САУМБ) не могут обеспечить новые требования к энергоблокам ТЭС, участвующих в нормированном регулировании частоты и мощности в энергосистеме, без существенного увеличения корректирующего воздействия котельного регулятора мощности (КРМ), регулирующего воздействия регулятора топлива (РТ) и перемещения регулирующих клапанов турбинного регулятора мощности (ТРМ) при отработке скачка задания по мощности КРМ в режиме номинального давления пара перед турбиной. Для устранения этих недостатков предлагаем модернизировать типовые САУМБ следующим образом. Дифференциатор инвариантности, получающий входной сигнал по давлению перегретого пара перед турбиной, а выходной – на вход КРМ, превратить в промежуточный усилитель. Задающий сигнал по мощности энергоблока превратить в звено быстрого реагирования (ЗБР). Для выравнивания сигналов с выходов КРМ и РТ между выходом КРМ и измерительным блоком РТ устанавливают дополнительный усилитель с коэффициентом передачи, равным коэффициенту передачи опережающего участка РТ. При этом структура РТ определяется по передаточной функции оптимального регулятора, у которого параметр динамической настройки  $T_{зд}$  выбирается равным постоянной времени передаточной функции опережающего участка, входом которого является перемещение регулирующего клапана РТ, а выходом – расход топлива, подаваемый в котёл. В результате чего внутренний контур с РТ превращается при отработке скачка задания КРМ в единицу, а корректирующее воздействие с входа КРМ становится равным регулирующему воздействию с выхода РТ. Причём структура оптимального КРМ и его динамическую настройку  $T_{зд2}$  выбирают из условия обеспечения максимальной относительной величины регулирующего воздействия РТ не превышающего единицу. Оптимальный турбинный регулятор (ТРМ) при этом представляем в виде реального ПИ-регулятора, обеспечивающего максимальную величину регулирующего воздействия ТРМ с перерегулированием в 1–2 %.

Параметры динамической настройки ЗБР рассчитывают из условия максимальной приёместости при отработке скачка задания КРМ.

В результате модифицирования САУМБ удовлетворяет требованиям СТО Системного оператора Единой энергосистемы (СО ЕЭС).

**Влияние присадок оксида магния на горение мазута**

Тарасевич Л.А, Могилат Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Сжигание мазута с высоким содержанием серы негативно отражается как на надежности и экономичности работы котельной установки, так и воздействии на окружающую среду. Применение присадок, содержащих оксид магния ( $MgO$ ), позволяет значительно снизить температуру уходящих дымовых газов и защитить поверхности нагрева от коррозии.

Технология  $MgO$  – это стабильная суспензия специальных высокоактивных оксидов металлов (в основном с частицами субмикронных размеров).

В высокотемпературных зонах при температурах выше  $600\text{ }^{\circ}C$  легкоплавкие компоненты летучей золы (ванадий) образуют, цепкие и коррозионные отложения. Добавка оксида магния повышает температуру плавления оксидов ванадия, т.к. их связывает магний. В результате чего зола не прилипает к поверхности нагрева, а осыпается. Более того, если поверхность нагрева покрыта отложениями, магний разрыхляет их, и они осыпаются.

В низкотемпературных зонах (воздухоподогреватель, экономайзер) при температуре ниже  $200\text{ }^{\circ}C$  появляется опасность оказаться ниже точки росы, что приведет к образованию серной и сернистой кислоты. Точка росы в котлах, сжигающих мазут  $135\text{--}165\text{ }^{\circ}C$ , в зависимости от избытка воздуха. Поэтому температура уходящих газов должна быть выше точки росы. Использование присадок оксидов магния позволяет нейтрализовать серную и сернистую кислоты и благодаря этому снизить температуру уходящих газов до  $100\text{--}110\text{ }^{\circ}C$ .

Присадка оксида магния улучшает сгорание топлива, при этом потери с недожегом сокращаются порядка на 80%.

Проведенные испытания котла ТГМ-96б при сжигании мазута с присадками оксидов магния позволили получить следующие результаты:

- снизилась температура точки росы уходящих газов до дымососа до  $105\text{--}110\text{ }^{\circ}C$  (соотношение веса добавки и мазута  $1:3000\text{--}1:6000$ );
- концентрация летучей золы составила  $2,5\text{--}5,0\text{ мг/м}^3$ , концентрация ванадия в золе –  $1\text{--}2\%$  (массовая доля), пентоксида ванадия –  $2,5\text{--}3\%$ ;
- расход мазута уменьшился на  $1,5\text{--}3,5\%$ ;
- рекомендуемый расход присадки –  $1\text{ л на }3\text{--}4\text{ т мазута}$ .



## Эффективность применения горелок с ротационной форсункой для сжигания мазута с присадкой воды

Тарасевич Л.А., Могилат Г.А.

Белорусский национальный технический университет

В качестве энергетического топлива в Республике Беларусь широко используется мазут. Качественного сжигания можно добиться только при тонком распыле топлива. При прогревании капли мазута легкие фракции испаряются и сгорают, а высокомолекулярные соединения (в виде карбонатов, асфальтенов и смол), составляющие коксовый остаток, выгорают значительно дольше. Известно, что содержание небольшого количества воды в мазуте способствует лучшему выгоранию топлива. Проведены испытания котла тепловой мощностью 4,2 МВт с горелочным устройством с ротационной форсункой и впрыском воды в мазут. Большая частота вращения стакана и высокое давление первичного воздуха обеспечивали эффективное распыление мазута. Исследования проводились при четырех нагрузках, постоянном содержании  $O_2$  в уходящих газах и переменном расходе добавляемой воды на каждой нагрузке. Кроме того, оценивалось влияние температуры подогрева мазута на процесс образования кокса. Опыты показали, что при всех нагрузках и одинаковой температуре подогрева мазута содержание кокса существенно зависит от количества добавленной воды и снижается до  $110 \text{ мг/м}^3$ . При добавлении воды в количестве 8–10% от расхода мазута количество кокса остается постоянным. Определена оптимальная доля присадки воды (8–10%), при которой количество кокса не возрастает, но приводит к некоторому снижению к.п.д. котла. Впрыск воды позволил снизить концентрации  $CO$  и  $C_nH_m$ . Уменьшение образования кокса позволило снизить потери с  $q_4$ , а, следовательно, получить прирост КПД, который составил 0,74%. Рост потерь с уходящими газами из-за впрыска воды составил 0,48%. В итоге суммарный КПД котла увеличился на 0,26%.

При проведении опытов исследовалось влияние температуры подогрева мазута и водо-мазутной эмульсии на концентрацию твердых частиц в дымовых газах. С ростом температуры распыл улучшается. Это привело к снижению концентрации твердых частиц. Оптимальный подогрев мазута составил 85–120 °С. При дальнейшем повышении температуры мазута возникала опасность коксования стакана ротационной форсунки. Благодаря присадке воды к мазуту теплообменные поверхности котла остаются относительно чистыми, что улучшает теплообмен и снижает температуру уходящих газов.

**Использование золы и шлака тепловых электростанций**

Жихар Г.И., Богдан Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Проблема использования золы топлива оказалась настолько важной, что при ЕЭК ООН была создана специальная подкомиссия по использованию летучей золы, в которой приняло участие 20 стран.

В Польше общее использование золы составляет около 10%, и используется она главным образом для получения высококачественного пористого бетона. В США, Великобритании и Франции зола широко используется при строительстве плотин, автомобильных дорог, каналов и стабилизации грунтов. В ФРГ зола используется для изготовления различных строительных материалов. Шлаки и гранулят используют для изготовления шлаковых блоков; летучую золу – для приготовления газобетона, а в смеси со шлаком или гранулятом – для изготовления золо-известковых кирпичей, в качестве обогащающей добавки для цемента и при производстве пресованных штучных стройматериалов, а также при сооружении шоссежных дорог. В Англии летучая зола используется для приготовления бетона, изготовления кирпича и блоков, в качестве лёгкого заполнителя (после её агломерации). Широко используется летучая зола в дорожном строительстве. Отмечается, что зольный бетон отличается повышенной сопротивляемостью разрушительному влиянию сульфатов и морской воды.

Фирма Stralag (ФРГ) перешла к промышленному использованию гранулята, жидкого шлака и летучей золы для дорожного строительства. Гранулят с фракциями 0-5 мм используется в смеси с горячим битумом или каменно-угольной смолой и различными заполнителями с летучей золой. В Северном Уэльсе при сооружении плотин и туннелей для приготовления бетона используют золу в количестве 60% по отношению к цементу. Стеновой строительный материал изготавливают с содержанием золы в количестве 80-90% по отношению к вяжущему. Строительный кирпич хорошего качества получают с использованием золы с глиной в пропорции соответственно 60:40.

В Беларуси проведены исследования по использованию торфяной золы Усяжского ТБЗ и Лидского ТБЗ. Торфяная зола этих ТБЗ использовалась в разных соотношениях для получения бетонов. Физико-механические показатели полученных бетонов сравнивались с физико-химическими показателями цемента марки М-500 ОАО «Красносельск-стройматериалы».

## **Анализ схем перевода паровых котлоагрегатов в водогрейный режим работы**

Болбот С.С., Карницкий Н.Б.

Белорусский национальный технический университет

Значительное количество паровых котлов среднего и низкого давления в настоящее время выработали свой парковый ресурс, имеют ограничение по нагрузке, параметрам пара и числу пусков, относятся к неэкономичному и не удовлетворяющему критериям надежности оборудованию и требуют вывода из эксплуатации и последующего дорогостоящего демонтажа. Рассматривая вопрос продления срока службы оборудования, широкое применение получили варианты реконструкции с полным или частичным переводом паровых котлов в водогрейный режим. В основном данные схемы применяются на котельных промышленности и жилищно-коммунального комплекса. Существует множество вариантов реконструкции паровых котлов для возможности их работы в водогрейном режиме. Принципиально такие схемы можно разделить на четыре группы: схемы с прямоточным движением воды; схемы с естественной циркуляцией; схемы с принудительным движением воды с применением струйных насосов; комбинированные схемы.

Наиболее оптимальным с точки зрения минимизации затрат и исключения технических недостатков является комбинированный подход к реализации схемы перевода паровых котлов, одним из вариантов которых является следующая схема:

- прямоточная в части теплонапряженных экранов с верхними и нижними коллекторами при условии направления движения снизу вверх, также в экономайзере и пароперегревателе;
- схема с многократной принудительной циркуляцией в остальной части экранов и первых рядах конвективного пучка;
- схема с интенсифицированной естественной циркуляцией, в остальной части трубного пучка, возможность для которой возникает в связи с применением упомянутой выше многократной принудительной циркуляции и использованием побудителей циркуляции.

По результатам проведения расчета экономического эффекта от проведения мероприятий по переводу парового котла в водогрейный режим работы в соответствии с Методическими рекомендациями по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, экономия топлива для оборудования теплопроизводительностью 100 Гкал/ч составит от 11 360 до 23 700 т.у.т. в год.

Карницкий Н.Б., Коробец П.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы возможно применение электрокотлов и баков-аккумуляторов теплоты на энергоисточниках. Такой вариант можно рассмотреть на примере Гродненской ТЭЦ-2, поскольку из общей генерации вытесняются традиционные регуляторы мощности – КЭС. Использование электрокотлов в прогнозируемой ситуации необходимо, поскольку, с одной стороны, создает гибкость в части обеспечения нагрузок и допускает возможность косвенного резервирования мощности в энергосистеме в ночные часы. Тепловые аккумуляторы должны работать в противофазе: заряжаются днём за счёт увеличения пропуска пара в отборы и генерации большего количества дешевой электроэнергии от ТЭЦ в часы дневных максимумов. Разрядка аккумуляторов происходит в часы ночного провала потребления электроэнергии, когда отключаются отборы для снижения её генерации. При этом показатели ТЭЦ не ухудшаются, поскольку пиковые мощности на базе прямого сжигания топлива для этих целей не привлекаются.

Устанавливаемые электрокотлы на ТЭЦ имеют мощность 60 МВт, КПД – 98,5 – 99,0 %. Применение электрокотлов приведет к незначительному повышению удельных расходов топлива на производство электроэнергии, что можно рассматривать как приемлемую плату за полученную при этом дополнительную маневренную мощность при сохранении работы теплофикационных турбоагрегатов со значительно меньшей фактической разгрузкой.

Установка бака-аккумулятора объемом 36800 м<sup>3</sup> позволит сделать довольно гибкую схему теплоснабжения потребителей и «живучий» режим работы оборудования станции в условиях глубоких ночных электрических разгрузок при вводе первого блока АЭС в эксплуатацию.

Стоимость электроэнергии, отпускаемой от Гродненской ТЭЦ-2, в условиях рынка будет выглядеть более привлекательной по цене в сравнении даже с другими ТЭЦ. В условиях рынка электроэнергии её выгоднее вырабатывать в дневные часы максимумов энергосистемы, нежели в ночные часы провалов. При этом дополнительная выработка электроэнергии оценивается на уровне 7,2 млн. кВтч в месяц.

Схема будет эффективной при относительно теплой зиме с температурой наружного воздуха не ниже нуля, когда паровые турбины недогружены по электрической мощности.

## **Моделирование работы сепарационного устройства парогенератора ПГВ-1000М в пакетах SolidWorks и ANSYS**

Болбас М.О., Назаров В.И,  
Белорусский национальный технический университет

Влияние влажности пара на экономичность турбоагрегата обусловлено затратами энергии на разгон и отбрасывание капель влаги при вращении ротора, на трение потока пара о капли и пленки влаги, а также увеличением конечных потерь и тормозящим воздействием ударов капель, срывающихся пленок. Имеющиеся опытные данные показали, что повышение влажности на 1% ведет к снижению  $\eta_{oi}$  турбины на 0,5-1% в зависимости от конструкции. Повышение влажности пара на выходе из парогенератора способствует увеличению капельного уноса примесей из котловой воды. Эти примеси откладываются на теплообменных поверхностях парогенераторов, сепараторов, пароперегревателей, а также на соплах и лопатках турбины, приводя к их ускоренному коррозионному и эрозионному износу и снижению экономичности их работы.

В настоящее время разработаны различные способы осуществления внешней и внутриканальной сепарации пара в циклах паротурбинных установок. Однако данные методы не оказывают существенного влияния на влажность пара в первых ступенях ЦВД влажнопаровых турбоустановок и, соответственно, на величину их эрозионного износа. Решить данную проблему можно улучшив сепарационные характеристики парогенераторов, что улучшит качество пара на входе в турбоагрегат.

На практике решение данной задачи связано с необходимостью выполнения весьма трудоемких вычислений, которые бы учитывали особенности движения пароводяной смеси в каналах различной формы, ее температуру, давление, скорость, расстояние до зеркала испарения жидкости, распределение тепловых потоков в объеме среды, конструктивные особенности оборудования, в котором протекают данные процессы.

Применение современных систем автоматизированного проектирования, таких как SolidWorks 2013 и ANSYS, позволяет значительно уменьшить временные и денежные затраты на разработку оборудования, выявить слабые места в конструкции устройств и улучшить эффективность работы на стадии проектирования, смоделировать работу моделей в условиях нормальной эксплуатации и в аварийных режимах без риска разрушений и угрозы жизни персонала, отобрать для проведения натурных испытаний наиболее эффективные конструкции устройств.

**Перспективы развития солнечной энергетики  
в Республике Беларусь**

Янушкевич В.Л., Назаров В.И.

Белорусский национальный технический университет

Солнечные энергетические технологии превращают электромагнитное излучение Солнца в формы тепла и электроэнергии, пригодные для использования. Солнечная энергия может использоваться в деятельности человека, включая: сушку, приготовление пищи, дистилляцию/опреснение, обогрев бассейнов, нагрев воды, отопление, охлаждение и производство электроэнергии. Для использования солнечного излучения следует определить «радиационный баланс», который регулируется астрономическими отношениями (суточными и сезонными циклами) с одной стороны, и атмосферными условиями (мутностью и облачностью), с другой. Кроме того, рельеф местности также влияют на радиационную нагрузку. В целом, радиационный баланс уменьшается с увеличением широты от экватора, а также при влажном климате и в присутствии загрязнения в связи с повышенной концентрацией частиц в атмосфере.

Что касательно Беларуси мы имеем не самый большой потенциал солнечной энергии. Беларусь ежегодно получает в общем  $1000-1150 \text{ кВт/м}^2$ , что составляет около половины радиационного баланса Южной Европы и Ближнего Востока (приблизительно  $2200 \text{ кВт/м}^2$ ) и превышает показатель Северной Европы и России ( $800 \text{ кВт/м}^2$ ).

Так как же нам использовать этот возобновляемый источник энергии по максимуму. Научное и научно-техническое обеспечение и сопровождение программ должно быть направлено на достижение следующих целей:

- 1) на повышение эффективности используемых фотоэлектрических систем и снижение себестоимости производимой ими электроэнергии.
- 2) на поиск новых, более эффективных и дешевых, материалов и методов изготовления солнечных установок, создание новых конструкций солнечных установок.

Также цель этой работы – получить приближенные значения некоторых технико-экономических показателей солнечной энергоустановки в климатических условиях Республики Беларусь, и на основании полученных значений дать оценку экономической целесообразности использования такой установки в Республике Беларусь.

Качан С.А., Артимаеня А.А.

Белорусский национальный технический университет

Современные условия повышают требования к маневренности оборудования ТЭС, которое привлекается для регулирования графика нагрузки энергосистемы. До недавнего времени парогазовые установки (ПГУ) с КПД до 60%, с трехконтурными котлами-утилизаторами (КУ) и промежуточным перегревом пара, выполненные на базе передовых газовых турбин, воспринимались как предназначенные для несения базовой нагрузки. В настоящее время разрабатываются решения, позволяющие использовать их как пиковые энергоисточники [1]. Основные решения проекта *Siemens*, названного *FACY (FAst CyCling)*: применение котла-утилизатора *BENSON®* с прямоточным испарителем высокого давления (ВД), в котором толстостенный барабан ВД заменяется на сепаратор с тонкими стенками, что позволяет сократить время прогрева и пуска КУ без снижения надежности установки; оптимизация отдельных узлов и программы эксплуатации ПГУ, чтобы уменьшить циклическую усталость металла; поддержание давления и температуры в основных узлах во время остановов, использование стороннего (вспомогательного) пара, для прогрева КУ, паровой турбины и т.д.; оптимизация концепции автоматизации и управления: полная автоматизация «горячего» пуска паровой турбины без необходимости ручного управления; гибкая концепция эксплуатации, позволяющая оператору прогнозировать износ узлов и выбирать время и темп пуска; использование запатентованной системы контроля и управления термическими и механическими напряжениями турбины - *Turbine Stress Controller (TSC)* для минимизации усталости металла и вычисления кумулятивной усталости контролируемых деталей турбины; технология параллельного пуска из горячего состояния газовой и паровой турбин «*Hot Start on the fly*».

Рассмотренные инновационные решения проекта *FACY* реализованы на многих электростанциях Европы и показали отличные результаты для ПГУ как одновальной, так и многовальной конфигурации. Первое поколение решений *FACY* сократило время горячего пуска ПГУ со 100 до 55 минут, а второе - до 40 минут и даже ниже.

#### Литература

Improving Flexibility of the Combined Cycle Power Plant Hamm Uentrop to Cover the Operational Profiles of the Future / Martin Buschmeier, Thomas Kleinwächter, Andreas Feldmüller, Philipp Köhn // POWER-GEN Europe 2014, Cologne.

**Совершенствование работы низкочастотной части  
паротурбинных установок**

Качан С.А., Артименя А.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях задачи повышения экономичности работы ТЭЦ должны решаться одновременно с улучшением их маневренных характеристик. Снизить потери в холодном источнике, которые являются наибольшими потерями энергии тепловой электростанции, можно либо за счет полезного использования теплоты отработавшего пара, например, для подогрева технологической или сетевой воды, либо за счет уменьшения до предельно допустимого значения расхода пара в часть низкого давления (ЧНД) и конденсатор при его охлаждении циркуляционной водой.

Полная утилизация теплоты, если она связана с увеличением давления в конденсаторе, во многих случаях ведет к ограничению мощности турбоустановки и отрицательно влияет на ее маневренные качества. Для мощных теплофикационных турбин подогрев сетевой воды во встроенном пучке конденсатора по сравнению с уменьшением вентиляционного пропуска пара в ЧНД и охлаждением конденсатора циркуляционной водой оказывается не целесообразным, как по условиям надежности, вследствие разогрева ЧНД, так и маневренности и системной экономичности.

Снижение вентиляционных пропусков пара в ЧНД теплофикационных турбин до предельно минимальных за счет модернизации регулирующих диафрагм, применения систем охлаждения выхлопного патрубка и организации влагоудаления из ЧНД, а также систем ввода в конденсатор пароводяных потоков не только улучшает их экономичность в базовом режиме, но также повышает возможность и эффективность оптимизации переменных режимов работы турбоустановок.

При оптимизации работы ТЭЦ минимальные потери теплоты в холодном источнике в большинстве случаев соответствуют максимально неравномерному распределению тепловых и электрических нагрузок между турбинами, том числе одноступенными, и преимущественному нагружению турбин с наибольшим вентиляционным пропуском пара в конденсатор через закрытые регулирующие диафрагмы ЧНД. В период работы пиковых водогрейных котлов, целесообразна работа теплофикационных турбин, имеющих уплотненные регулирующие диафрагмы ЧНД, по тепловому графику с отключенными ПВД.



**Анализ аварии типа «малая течь из первого контура во второй»**

Романко В.А., Павловская А.А.

Белорусский национальный технический университет

При аварии типа «течь из 1-го контура во 2-й» выделяется два вида аварий: разрыв теплообменной трубки парогенератора и отрыв крышки коллектора парогенератора. Проведем анализ разрыва теплообменной трубки парогенератора с последующим расхолаживанием со скоростью 60 °С/ч. Исходное событие относится к проектной аварии категории 3 функциональной группы «уменьшение количества теплоносителя первого контура».

Хронологическая последовательность событий и режима расхолаживания при разрыве теплообменной трубки парогенератора следующая: 1) разрыв одной теплообменной трубки парогенератора; 2) отключение всех ГЦНА; 3) закрытие стопорных клапанов турбогенератора; 4) формирование сигнала на срабатывание АЗ; 5) начало движение органов регулирования, запуск дизель-генераторов и их нагружение по программе ступенчатого пуска; 6) открытие четырех БРУ-А и их работа в режиме поддержания давления 7,4 МПа; 7) формирование сигнала «Течь из первого контура во второй» и запуск автоматического алгоритма: включение двух насосов системы аварийного ввода бора на впрыск в КД (в режиме ограничения давления 8,3 МПа); изоляция аварийного ПГ2 по питательной воде и продувке; включение в работу БРУ-А неаварийных парогенераторов в режим аварийного расхолаживания; отключение с запретом на включение всех групп ТЭН в КД; закрытие БРУ-А на паропроводе аварийного ПГ2; 8) период работы двух каналов системы аварийного ввода бора на впрыск КД; 9) формирование сигнала на запуск систем безопасности. Закрывается локализирующая арматура защитной оболочки.; 10) вскипание теплоносителя в СКР; 11) закрытие БЗОК на паропроводе ПГ1. Формирование сигнала на подключение канала системы аварийной питательной воды к ПГ1; 12) закрытие БЗОК на паропроводе ПГ3. Сигнал на подключение канала системы аварийной питательной воды к ПГ3. Закрытие БЗОК на паропроводе ПГ4. Сигнал на подключение канала системы аварийной питательной воды к ПГ4; 13) подача аварийной питательной воды работоспособного канала к ПГ4 максимальным расходом; 14) закрытие БЗОК на паропроводе аварийного парогенератора по фактору снижения давления над активной зоной до 8,3 МПа; 15) завершение аварийного расхолаживания РУ со скоростью 60 °С/час.

**Анализ режима работы энергоблока с турбиной типа  
«К-1000-60/3000» при отключении ТПН**

Романко В.А., Пантелей Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Случаи останова ТПН действиями персонала можно разделить на две группы: случаи немедленного останова и случаи останова в срок, определённый ГИС. Случаи немедленного останова ТПН: сильная вибрация ТПН или металлический шум; падение температуры пара перед приводной турбиной; появление искр; разрыв паропровода подачи пара, появление дыма из подшипников; воспламенение масла и т.д. Случаи останова ТПН в срок, определённый ГИС: при заедании стопорного или регулирующего клапана (остановить ТПН закрытием ГПЗ) и невозможности устранить неисправность на ходу; при выходе из строя устройств системы регулирования или защиты ТПН, температурного состояния приводной турбины, вибрационного и температурного состояния подшипников агрегата и т. д.

Исходя из результатов диагностики, принимается решение о дальнейших действиях – о разгрузке энергоблока для отключения одного из двух ТПН. РУ разгружается со скоростью до 3%  $N_{ном}$  в минуту воздействием на ОР СУЗ, для поддержания ОР в положении 55–85% в теплоноситель первого контура периодически вводится борная кислота. По мере снижения мощности ТГ производится перевод потребителей пара отборов турбины на питание паром КСН, а сам КСН запитывается от БРУ-СН. После снижения мощности РУ до 50% производится вывод из работы аварийного ТПН: с контролем работы узла питания переводится нагрузка на оставшихся в работе ТПН, отключаемый ТПН разгружается до снижения давления на его напоре ниже 70 кгс/см<sup>2</sup>, после чего отключается.

Для перевода расхода питательной воды на остающийся в работе ТПН необходимо перевести переключатель регулятора производительности/разворота аварийного ТПН в положение «дистанция» и, воздействуя на золотник трансформатора давления (МУТ ТПН), постепенно разгрузить отключаемый ТПН. Снижение давления перед узлом питания ПГ должно компенсироваться воздействиями регулятора производительности в сторону «прибавить» на МУТ оставшегося в работе ТПН.

В результате предпринятых мер должно быть достигнуто стабильное состояние РУ и энергоблока на уровне мощности 45 – 50%  $N_{ном}$ , основные регуляторы работают в автоматическом режиме, неисправный ТПН выведен в ремонт.

**Анализ возможности неравномерного разбавления теплоносителя  
в реакторах типа ВВЭР через систему подпитки и продувки  
первого контура**

Буров А.Л.

Белорусский национальный технический университет

В водо-водяных реакторах (типа ВВЭР) борная кислота используется в качестве растворимого поглотителя нейтронов в теплоносителе 1 контура. Основными функциями борной кислоты являются компенсация воздействия на реактивность от выгорания топлива и ксенонового отравления при нормальной работе и обеспечения необходимой подкритичности реактора в режимах перегрузки топлива, ремонта различной глубины, а также в аварийных режимах. Таким образом, в случае непреднамеренного разбавления теплоносителя реактора деборированной водой уменьшение концентрации бора приводит к снижению подкритичности активной зоны, что может привести к вводу положительной реактивности, а в случае дополнительных отказов систем безопасности, к повреждению активной зоны.

В оценке безопасности ВВЭР обычно рассматриваются два типа переходных процессов разбавления бора: гомогенное разбавление бора, когда концентрация бора постепенно снижается в активной зоне, при этом концентрация бора в теплоносителе 1 контура остается равномерной; и гетерогенное разбавление бора, когда в определенных частях первичной системы образуется деборированная водная пробка с низкой или нулевой концентрацией бора и переносится в ядро во время переходного процесса, в то время как концентрация бора в остальной части первичной системы остается неизменной. В настоящее время в ПООБ Белорусской АЭС переходные процессы, связанные с гетерогенным разбавлением, не представлены. Как проектные, так и за проектные аварии, рассматриваемые в ПООБ, связаны с процессами медленного снижения концентрации бора в первичном теплоносителе и относятся к гомогенному разбавлению бора. Данные переходные процессы также являются предметом ГНИП «Высокие технологии и технологии» 2016-2020 гг. В ходе семинара «Обзор проблем безопасности SAR - гетерогенного разбавления» было выявлено, что оценка инициирующих событий, связанных с гетерогенным разбавлением бора для ВВЭР-1200, является очень важной проблемой, и необходимы некоторые исследовательские работы с целью совершенствования методов прогнозирования локальных событий разбавления бора для реактора белорусского АЭС и оценка их последствий.

**Срабатывание аварийной защиты реакторной установки  
ВВЭР-1000 по ложной причине**

Буров А.Л., Павловская А.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях срабатывания аварийной защиты (АЗ) по ложной причине основными задачами обслуживающего персонала становятся: контроль и поддержание давления в главном паровом коллекторе (ГПК) и парогенераторе (ПГ), контроль и поддержание подачи питательной воды в парогенератор, контроль отключения турбоустановки (ТУ) и генератора.

Рекомендуемый порядок действий персонала при срабатывании АЗ: закрыть СК ТГ при снижении давления во втором контуре менее  $58 \text{ кг/см}^2$ ; снизить расход основного конденсата (ОК) на Д-7 до минимального возможного; отключить КГТН; включить ВПЭНы; отключить ТПНы; перевести БРУ-СН на дистанционное управление; открыть связь по пару с 1-ой очередью; стабилизировать давление 2-го контура воздействием на БРУ-СН и дренаж до ГПЗ. Необходимо также помнить о том, что подключение связи по пару с внешним источником должно производиться с минимальным числом потребителей КСН блока.

Конечным безопасным состоянием энергоблока и ТА после срабатывания АЗ будет являться состояние когда реакторная установка подкритична, в состоянии «горячее», генератор отключен, схема управления КАГ разобрана, турбина завершила выбег, питательно-деаэрационная установка в работе с номинальными параметрами, питание ПГ от ВПЭН, приём пара из ПГ осуществляется через БРУ-К (БРУ-СН), в работе вспомогательные системы ТУ, генератора, а КСН подключен к внешнему источнику пара

Определяющее значение в плане удержания давления 2-го контура имеет упреждающее снижение расхода на потребителей пара из ГПК. Неконтролируемое снижение давления в ГПК приводит к увеличению требуемого расхода питательной воды в ПГ, что усугубляет расхолаживание 2 контура. Не менее важным является своевременное приведение расхода питательной воды в ПГ к тепловой мощности реактора, что уменьшает расхолаживание 1-го контура за счет уменьшения холодных потоков поступающих в ПГ. Главная задача - снижение расхода ОК на Д-7 до минимально-возможного, в противном случае тепловой «удар» по деаэратору вызывает повышенный расход пара на деаэратор вплоть до срабатывания блокировки на закрытие БРУ-СН при давлении в ГПК  $56 \text{ кг/см}^2$ , а при несвоевременном подключении КСН от 1-й очереди возможна потеря давления в деаэраторах.

Пронкевич Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Важнейшими задачами персонала крупных тепловых электростанций с блоками 250МВт в настоящее время являются задачи продления срока службы основного и вспомогательного оборудования путём проведения модернизации и замены морально и физически устаревшей его части.

Насосное оборудование тепловых электростанций среди вспомогательного оборудования по установленной мощности и многообразию применяемых конструкций для различных условий работы занимает ведущее место. В настоящее время расширился диапазон используемых центробежных и осевых насосов новейших конструкций. Техничко-экономические и эксплуатационные показатели насосного оборудования ТЭС постоянно совершенствуются, конструктивно видоизменяются, модернизируются и создаются новые типы насосов.

Рост параметров пара котлоагрегатов и единичных мощностей турбоустановок приводит к увеличению мощности питательных, циркуляционных, конденсатных и других насосов. В связи с этим возникла необходимость создания принципиально новых конструкций указанных насосов. Например, переход от горизонтальных конденсатных насосов к вертикальным позволяет решить проблему уменьшения занимаемой площади, исключить одно уплотнение, повысить всасывающую способность первой ступени конденсатного насоса.

В течение многих лет опыт работы дренажных насосов ПНД-4 на блоках Т-250/300-240 показал, что электронасосные агрегаты типа Кс-80-155, Кс-125-140, из-за постоянной проблемы надежности, требуют много внимания и частые ремонты, а, следовательно, и дополнительные капиталовложения.

В целях повышения эффективности, экономичности и надежной работы дренажных насосов ПНД были модернизированы и выпущены новые электронасосные агрегаты, такие как КсВ-90-155 и КсВ-90-220, которые в данное время внедряются на многих ТЭС и КЭС.

Сопоставить и выбрать наиболее эффективный и экономичный вариант дренажного насоса ПНД-4 можно, сравнивая их технические характеристики. Бесперебойная работа насоса зависит от следующих факторов: выбор рационального типа конструкции насоса; качества изготовления; правильного и качественного монтажа; правильной эксплуатации.

## **Перспективы и возможности использования систем сухого охлаждения на ТЭС**

Чиж В.А., Подоляничик В.П.

Белорусский национальный технический университет

На ТЭС основное количество воды используется в конденсаторах паровых турбин для конденсации отработавшего пара. Значительное количество технической воды подводится к воздухо- и газоохладителям электрогенераторов, воздухоохладителям питательных электронасосов, маслоохладителям турбин и вспомогательного оборудования, систем охлаждения подшипников и т. д. Вода требуется для восполнения потерь в основном пароводяном тракте ТЭС и системах теплоснабжения. В дальнейшем обеспечение ТЭС пресной водой будет крайне затруднено. Во многих станах мира выбор площадки под строительство новой электростанции уже стало серьезной проблемой. Поэтому, одной из важнейших задач настоящего времени является применение таких процессов водопользования, которые могут снизить расходы воды на ТЭС. В связи с этим все большее применение в мировой практике находят воздухоохлаждаемые конденсаторы, позволяющие исключить основные проблемы традиционных водоохлаждаемых конденсаторов и резко снизить водопотребление.

Все более важным становится и экологический эффект. Воздухоохлаждаемые конденсаторы позволяют избежать насыщения атмосферного воздуха водяными парами, которые являются основным газом, создающим парниковый эффект, а также существенно сокращают изъятие водных ресурсов из природной среды.

Принцип работы воздухоохлаждаемого конденсатора следующий: пар поступает в верхнюю часть теплообменников и движется вниз, конденсируясь в оребренных трубках. Из нижней части теплообменников конденсат возвращается в конденсатный бак, а из него дальше в тепловую схему. Неконденсирующиеся газы и воздух удаляются из конденсаторов вакуумными насосами или эжекторами.

Воздухоохлаждаемые конденсаторы находят все большее применение, так как обладают неоспоримыми преимуществами по сравнению с традиционными водоохлаждаемыми: независимость выбора площадки для строительства ТЭС от источника водоснабжения, экологически чистый процесс охлаждения, исключение присосов охлаждающей воды в основной конденсат, а, следовательно, загрязняет питательную воду энергоблоков, отсутствие проблем с ВХР, характерных для водоохлаждаемых систем.

**Коррозионные повреждения дисков и лопаточного аппарата паровых турбин и мероприятия по их предотвращению**

Пантелей Н.В., Семук В.Е.

Белорусский национальный технический университет

Коррозией называется процесс разрушения металлов или сплавов вследствие протекания физико-химических процессов на границе металл-среда. Коррозия приводит к частичному или полному разрушению кристаллической решетки и изменению свойств металла, вплоть до его разрушения. Коррозия может вызываться химическими, электрохимическими, механическими причинами, влиянием нейтронного поля и другими факторами. Коррозией лопаток называется химическое разъедание их поверхности под влиянием кислорода (ржавления), щелочи, накипи и других воздействий.

Коррозионные повреждения лопаточного аппарата обычно локализуются в начальной зоне фазового перехода, однако при существенном ухудшении качества свежего пара перед турбиной могут подвергаться коррозионным повреждениям рабочие лопатки всех ступеней, работающих в области влажного пара. Коррозионные повреждения рабочих лопаток турбин в зоне фазового перехода появляются на тех тепловых электростанциях, где по разным причинам не обеспечивается необходимый уровень качества свежего пара перед турбинами. В этих условиях коррозионная повреждаемость зависит также от длительности эксплуатации турбин и может проявляться уже при небольшой наработке.

Наиболее распространенными местами коррозионного растрескивания дисков являются зоны: продольного шпоночного паза (85 %), разгрузочных отверстий (80 %), заклепочных соединений (30 %), ступичной части и полотно диска (10 %).

Коррозионные повреждения дисков и лопаточного аппарата зависят от качества пара перед турбиной, коррозионной стойкости металла дисков и лопаток, а также режимы эксплуатации турбоустановок и отклонения в условиях их работы.

Для предотвращения коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата турбины необходимо проводить контроль металла насадных дисков и рабочих лопаток, регулярно производить автоматизированный химический контроль качества свежего пара перед турбинами, применять ингибирующие присадки в пар перед зоной фазового перехода турбины, проводить консервацию оборудования турбинных установок при их останове.

УДК 621.1

**Применение регулируемого электропривода на циркуляционном насосе для повышения эффективности систем технического водоснабжения тепловых электростанций**

Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А., Карницкий Н.Б.  
Гомельская ТЭЦ-2  
Белорусский национальный технический университет

Высокая эффективность применения автоматизированного регулируемого электропривода (РЭП) для регулирования параметров и оптимизации работы различных технологических систем с механизмами, особенно с насосными установками, работающими в переменных режимах, подтверждена многолетним мировым опытом. Рассматриваются проблемы выбора оптимального или экономического вакуума в конденсаторах паровых турбин ТЭС, так как это позволяет вести наиболее экономичный режим работы циркуляционных насосов и правильно распределить расход охлаждающей воды при параллельном водоснабжении нескольких турбин в зависимости от паровой нагрузки конденсаторов и температуры охлаждающей воды. Приведена методика оценки экономической эффективности внедрения РЭП на циркуляционном насосе при различных режимах основного оборудования ТЭЦ. Для оценки выполнялись расчеты с использованием математической модели работы станции, состоящей из математических моделей турбины, циркуляционных насосов, системы технического водоснабжения (СТВ) и градирен. В математических моделях использовались результаты гидравлических испытаний СТВ, тепловых испытаний градирен Гомельской ТЭЦ-2.

Произведенные расчеты свидетельствуют о значительной эффективности РЭП в отопительном периоде при работе ТЭЦ по тепловому графику (с малыми расходами отработавшего пара в конденсатор). Отмечено, что применение РЭП в летний период неэффективно, так как снижение мощности турбины превышает экономию электроэнергии на привод циркуляционных насосов. Необходимо отметить, что приведенная энергоэффективная технология, кроме экономии электроэнергии и топлива, позволяет продлить ресурс оборудования, увеличить его межремонтные периоды.



**Современные пути модернизации  
промышленно-отопительных котельных**

Седнин А.В., Путейко Д.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Промышленно-отопительные котельные малой и средней мощности по-прежнему имеют широкое распространение в системах теплоснабжения. В последние десятилетия в Республике Беларусь внедрялись различные технические решения, направленные на повышение эффективности работы котельных. В частности производилась замена котлов, на более эффективные, замена горелочных устройств на существующих котлах, внедрение частотного регулирования на насосном и тягодутьевом оборудовании, внедрение современных систем автоматизированного управления и т. д.

Также на многих котельных широко внедрялись проекты с организацией комбинированного производства электрической и тепловой энергии с применением паротурбинных установок, как на водяном паре, так и на органическом теплоносителе, газотурбинных установок с котлами-утилизаторами или со сбросом дымов газов в существующие котлы, газопоршневых двигателей внутреннего сгорания с утилизаторами теплоты и т. д.

В настоящее время основным мероприятием, которое существенно повлияет на развитие энергетической отрасли Республики Беларусь является строительство и ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС. Ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС потребует пересмотра режимов работы действующих генерирующих источников белорусской энергосистемы. Основные проблемы, как известно, возникнут прежде всего в соблюдении суточного графика электрических нагрузок и обеспечении горячего резерва блоков АЭС. В связи с этим при реконструкции котельных необходимо рассматривать новые направления в основном связанные с применением электро-энергии для покрытия нагрузки систем теплоснабжения. К таким технологиям в первую очередь необходимо отнести теплонасосные установки и электрко котлы. Также перспективным направлением является применение топливных элементов с использованием водорода. При этом теплогенерирующие оборудование на органическом топливе будет необходимо для обеспечения пиковых нагрузок. Должны найти широкое применение различные технологии аккумуляции теплоты.

## **Особенности применения электрокотлов в системах теплоснабжения**

Седнин А.В., Зеленин Д.С.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Республике Беларусь реализуется широкомасштабная программа по установке электрокотлов на действующих ТЭЦ и котельных. В соответствии с техническими решениями электрокотлы которые устанавливаются на действующих ТЭЦ будут включаться в работу в ночной период, используя электроэнергию вырабатываемую на самой станции за счет сжигания органического топлива. Пилотный проект был реализован в 2016 году на Гомельской ТЭЦ-2.

Электрокотлы устанавливаемые на котельных предполагается также использовать в ночной период для искусственного увеличения ночной электрической нагрузки энергосистемы. Тепловая энергия будет использоваться или непосредственно для отпуска в тепловую сеть, либо будет аккумулироваться в баках аккумуляторов сетевой воды, установка которых будет производиться на объектах вместе с электрокотлами.

Стоит отметить, что в настоящее время в некоторых странах западной Европы (Дания, Германия) сделавших приоритетным направление максимального использования возобновляемых источников энергии проекты с использованием электрокотлов снова стали актуальными. В отличие от ситуации в Республике Беларусь, электрокотлы рассматриваются как один из возможных вариантов использования электроэнергии для покрытия тепловых нагрузок. Кроме электрокотлов широкое применение находят тепловые насосы, топливные элементы, а также другие направления связанные и использованием водорода. Также стоит отметить что в некоторых случаях рассматривается возможность применения электрокотлов для поддержания частоты в энергосистеме. Постоянно возрастающее производство электроэнергии от солнечных и ветровых установок обострило проблему быстрого поддержания частоты энергосистемы. Электрокотлы могут в течение 30 секунд изменять свою нагрузку от минимума до максимума, трансформируя электроэнергию в тепловую, и тем самым обеспечивая ее аккумуляцию в периоды когда производство электроэнергии превышает спрос.

## Исследование влияния изменения доли ошибки регулирования по мощности на качество переходных процессов типовой системы автоматического управления мощностью энергоблока

Кулаков Г.Т., Кравченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

На рис. 1 приведена структурная схема моделирования переходных процессов типовой САУМБ на 30 % нагрузке энергоблока. Ошибка регулирования котельного регулятора мощности ( $\Delta N = N_{зд} - N_{ф}$ ) подаётся на вход турбинного регулятора мощности (ТРМ) через усилитель с коэффициентом передачи  $\alpha \in [1, 7]$ .

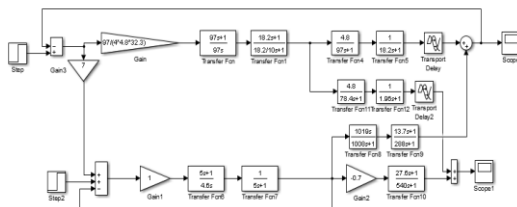


Рис. 1. Схема моделирования переходных процессов САУМБ для 30% нагрузки энергоблока при изменении доли ошибки регулирования КРМ на турбинный регулятор

На рис. 2 приведены графики изменения основной регулируемой величины – фактической мощности энергоблока  $N_{ф}$  при скачкообразном задании  $N_{зд}$  при изменении  $\alpha$  в пределах от 1 до 7.

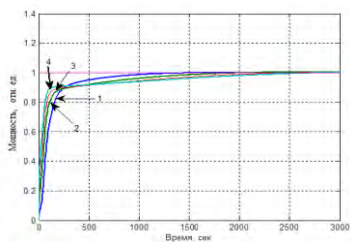


Рис. 2. Графики изменения фактической мощности энергоблока при отработке скачка задания и изменении доли ошибки регулирования КРМ на вход турбинного регулятора  $\alpha = 1 \div 7$

Здесь: 1 –  $\alpha=1$ ; 2 –  $\alpha=3$ ; 3 –  $\alpha=5$ ; 4 –  $\alpha=7$ . Видно, что увеличение численного значения коэффициента  $\alpha$  приводит к повышению доли отработки фактической мощности энергоблока в начале переходного процесса, например в момент времени  $t = 100$  с 70 % при  $\alpha = 1$  до 90 % при  $\alpha = 7$ . Вместе с тем повышение  $\alpha$  с 1 до 7 увеличивает время регулирования с 2000 с до 2500 с, т. е. на 25 %. Установленные зависимости необходимо учитывать при дальнейшей модернизации САУМБ для повышения качества переходных процессов в режимах переменного давления пара перед турбиной.

# **Экономика и организация энергетики**

## **Эффективность использования природных энергетических ресурсов**

Унукович А.В.

Белорусский национальный технический университет

Природные энергетические ресурсы - это промышленные запасы ископаемого топлива (уголь, нефть, природный газ, горючие сланцы и др.), геотермальная энергия Земли (тепло горных пород и флюидов), гидроэнергия, энергия Солнца, ветровая энергия, другие природные источники энергии. Природный энергетический фактор в современных условиях играет важнейшую роль в деятельности человека и обеспеченности природными энергетическими ресурсами, а также эффективность их использования значительно определяет темпы экономического развития и благосостояния людей. Природные энергетические ресурсы, преобразованные в электрическую и тепловую энергию, поддерживают жизнь людей, сберегают их здоровье, облегчают труд и экономят время. Повышение жизненного уровня населения, с одной стороны, связано с доступностью энергии, с другой стороны, спрос на энергию непрерывно увеличивается, что обуславливает и быстрый рост энергопотребления, несмотря на все более глубокое понимание того, что неконтролируемое ее потребление несет в себя глобальную угрозу окружающей среде. Так, большое потребление угля и нефти в целях производства электрической и тепловой энергии вызывает кислотные дожди и другие загрязнения, которые наносят экологический ущерб водным системам, лесам и сельскохозяйственным землям, а также разрушают промышленные и гражданские сооружения. Вследствие потребления энергии ежегодно выбрасывается в окружающую среду огромное количество диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и некоторых других газообразных продуктов сгорания, что чревато возникновением в атмосфере парникового эффекта. Чрезмерные выхлопы автомобилей в больших городах загрязняют воздух смогом, который угрожает потерей личного здоровья и чистоты среды обитания.

Отсюда возникает необходимость повышения эффективности их использования во всех сферах экономической и социальной деятельности. Прежде всего, необходима разработка технологий, обеспечивающих сбережение топлива, электрической энергии и тепла в автомобильном транспорте, промышленности, жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве, которые снизили бы отрицательные эффекты сжигания ископаемого топлива, связанного с образованием вредных выбросов и загрязнением воздуха в городах и потеплением климата. Не меньшее значение приобретают устойчивость рынка ископаемого топлива и надежность энергоснабжения.

Целесообразность более эффективного использования природных энергетических обуславливается необходимостью повышения качества жизни людей; уменьшения уровня загрязнения окружающей среды и истощения традиционных природных энергетических ресурсов; экономии финансовых ресурсов на основе внедрения эффективных технологий, способных принести прибыль и снизить расходы на проведение природоохранных мероприятий; развития рыночных механизмов как движущей силы, обеспечивающих индивидуальный выбор и конкуренцию, а также эффективное использование природных ресурсов на основе устранения ряда бюрократических барьеров и перестройки управленческих структур, основанных на порочных стимулах; повышения эффективности использования ограниченных финансовых ресурсов путем сокращения расточительного их использования на создания нерентабельных горнодобывающих и других предприятий, что обеспечит увеличение отдачи от вложенного капитала и явится единственным источником экономического роста; устранения причин неправильного использования трудовых ресурсов и формирования эффективных направлений научно-технического прогресса на основе рациональных экономических стимулов, обеспечивающих производительное использование природных ресурсов и привлечение достаточно высококвалифицированной рабочей силы.

Для реализации макроэкономического подхода и успешного решения современных экологических проблем представляется необходимым разработка программ, учитывающих связь первичных природных ресурсов с производством на основе их конечной продукции. В этой связи также необходим анализ возможностей взаимозаменяемости природных энергетических ресурсов с позиции их экономии при сохранении и увеличении конечных результатов. При этом важным представляется определение критического запаса природных ресурсов, который необходимо сохранить при любых вариантах экономического развития. Как показывает практика, повышение эффективности использования природных ресурсов и энергосбережение благоприятно оказывает влияние на экономическое развитие и состояние окружающей среды, а также снижают антропогенную нагрузку на экосистемы в целом.

Анализ показывает, что величина импорта природных энергетических ресурсов определяется внутренними потребностями в этих ресурсах, наличием собственных запасов энергетических ресурсов, издержками на их добычу и переработку, экологической составляющей и транспортным фактором. Однако, даже при значительных собственных запасах природных энергетических ресурсов, когда их добыча или транспортировка чрезмерно дороги, импорт всегда становится экономически выгодным. При этом внутренняя потребность экономики в природных энергетических ресурсах всегда

связана с ее техническим развитием и по мере относительной стабильности экономического роста и форсирования факторов энергосбережения темпы увеличения внутренних потребностей в природных энергетических ресурсах, как правило, снижаются. Если рассматривать экспортную составляющую природных энергетических ресурсов, то она зависит от сравнительной эффективности по отношению к другим отраслям экономики, величины издержек на их добычу и транспортировку, возможностей формирующихся факторов энергосбережения и научно-технического прогресса в этой сфере деятельности. При этом следует руководствоваться следующим правилом: если развитие других отраслей экономически более выгодно, а издержки на добычу природного ресурса чрезмерно велики, то выгоднее импортировать природные энергетические ресурсы или чистую энергию. В этом отношении Беларусь из-за незначительных запасов собственных природных энергетических ресурсов или их отсутствия в основном является импортером энергетических ресурсов, что обуславливает необходимость развития высокоэффективных других отраслей экономики на основе энергосбережения.

Не менее важным представляется принятие мер, обеспечивающих ускоренное проникновение энергосберегающих технологий на белорусский рынок, внедрение их в сферу производства и другие виды практической деятельности людей. Необходимо принятие шагов по созданию новых условий, при которых вкладывать капитальные затраты в использование энергосберегающих технологий было бы предпочтительнее по сравнению с расходами на увеличение производства топлива или создание новых производящих энергию мощностей. Необходимы нормативные требования, определяющие минимальные нормы эффективности для всех энергосберегающих технологий, приспособлений, устройств и приборов, а также эффективных форм организации их использования.

Например, экономное освещение является одним из важнейших факторов сокращения расходов электроэнергии и сбережения различных природных энергетических ресурсов. Одним из перспективных практических подходов решения этой важной проблемы может быть предоставление потребителям энергии различных субсидий на замену существующих осветительных приборов более экономными, а также права перераспределения в свою пользу полученной части денежных средств от сэкономленных топливных ресурсов. Необходимо сделать так, чтобы производители экономичных осветительных приборов сами были заинтересованы в решении этой проблемы. Как известно, потребление энергии в условиях недостаточно развитой экономики низкое, но при этом быстро растет спрос на энергию и обеспечивается ее эффективное использование. Поэтому собственное производство и внедрение энергосберегающих технологических средств будет не только способствовать развитию собственной экономики, и в то же время

сохранять спрос на энергию на относительно низком уровне, что в свою очередь будет обеспечивать эффективное использование природных энергетических ресурсов. Эффективность в этом случае экономит не только природный, но и человеческий, производственный и другие виды капитала, а также снижает загрязнение окружающей среды.

Экономическое развитие нашей страны на основе энергосбережения может внести посильный вклад в решение современных экологических проблем. Однако определяющей ролью при этом остается необходимость повышения благосостояния увеличивающейся численности населения. С другой стороны, централизованное управление экономикой имеет склонность к использованию неэффективных производственных процессов, низкой эффективности использования энергии, а также в большой доле использования традиционных топливных ресурсов энергетическом балансе. Средняя интенсивность энергопотребления в основных секторах такой экономики хотя и снижается, однако она остается достаточно высокой в сравнении с развитой рыночной экономикой. Поэтому основным фактором будущего экономического развития Беларуси следует считать использование возможностей, связанных с повышением эффективности использования всех видов энергии. Естественно, для реализации таких возможностей потребуются значительные технологические изменения на основе перемещения экономически эффективного капитала из экономически развитых стран, но при этом потребуются также структурные изменения в собственной экономике. Нужна новая экономическая политика, содействующая в первую очередь повышению эффективности использования природных энергетических ресурсов, созданию рыночных отношений в экономике и развитию кооперации на мировом рынке в сфере энергосбережения.

Считаем, что повышение стоимости топливных ресурсов экономически обедняет их потребителей независимо от того, где это происходит и какое их экономическое состояние. Поэтому в таких условиях важны политические меры, направленные на стимулирование эффективного энергопотребления за счет внедрения высокоэффективных технологий, которые позволяют постоянно отказываться от традиционных источников энергии и неэффективного использования природных энергетических ресурсов. При этом максимальная экономия энергии в условиях Беларуси может быть достигнута и определена в следующих основных областях: освещении; отоплении, автомобильном транспорте; производственных системах; средствах, используемых в быту.



**Перспективы развития малого и среднего предпринимательства  
в Республике Беларусь**

Кравчук Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Развитие предпринимательства играет важнейшую роль в экономическом росте нашей страны. Малый и средний бизнес сегодня – это мощная экономическая сила, формирующая более 28,5 % налоговых поступлений и 26,5 % экспорта товаров в общем экспорте страны.

В последнее время деловой климат улучшается благодаря диалогу бизнеса и власти. Например, сформированы рабочие группы во главе с Первым заместителем Премьер-министра Республики Беларусь по упрощению административных процедур, при Министерстве экономики создана рабочая группа по разработке Стратегии развития малого и среднего предпринимательства (МСП) Беларуси до 2030 г., впервые принята пятилетняя государственная программа поддержки МСП Республики Беларусь. Активно развивается Белорусский фонд финансовой поддержки предпринимательства при Министерстве экономики. На V Всебелорусском народном собрании было много сказано о развитии конкурентоспособности частного сектора экономики, малого и среднего бизнеса. Более 60 пунктов Стратегии развития Беларуси на ближайшие пять лет – это предложения делового сообщества, сформулированные в Национальной платформе бизнеса Беларуси (НПББ).

На Ассамблее деловых кругов Беларуси (Минск, 2 марта 2016 г.) руководители министерства экономики, антимонопольного регулирования и торговли, иностранных дел подтвердили поддержку предпринимательства со стороны государства, обозначили задачи которые стоят перед частным сектором и государством по укреплению национальной экономики и национальной конкурентоспособности.

За 10 лет принято более 380 предложений Национальной платформы бизнеса Беларуси. Осуществляется мониторинг продвижения других рекомендаций, сформулированных Платформой совместно с Департаментом по развитию предпринимательства экономики Республики Беларусь. В рейтинге Doing Business-2016 Беларусь впервые заняла 44 позицию, а 10 лет назад мы были на 129 месте в этом рейтинге.

Таким образом, постепенно создаются условия для открытия и ведения бизнеса в нашей стране.

**Практика постановки и ведения  
управленческого учета**

Манцорова Т.Ф., Алексеева Л.Д.  
Белорусский национальный технический университет  
ПЭИПК, Санкт-Петербург

Экономические преобразования в странах ЕАЭС, вызванные в большинстве случаев негативными факторами внешней среды, а также проектируемыми внутренними факторами, стимулировали интерес как бизнес-сообщества, так и потенциальных инвесторов к качеству и ценности информации о деятельности компаний и фирм.

На текущий момент информацию о деятельности предприятия можно получить через комплексную систему хозяйственного учета, которая включает кроме традиционного бухгалтерского (финансового) учета, статистический, налоговый и оперативно-технический учет. В то же время, значительная часть российских компаний и некоторые белорусские предприятия внедряют систему управленческого учета, который более информативен в формате «здесь и сейчас» и широко используется для учета результатов по технологическим циклам производственного процесса и структурным подразделениям, поставщикам-потребителям, рынкам и принятия на их основе управленческих решений. Руководители предприятия вправе использовать систему управленческого учета, в реализации которой в России и Республики Беларусь есть существенные отличия. В Республике Беларусь система управленческого учета не имеет нормативного регулирования, поэтому нам интересен практический опыт других стран.

Значительный опыт экономических реформ позволил российской стороне в лице Экспертно-консультативного совета по вопросам управленческого учета при Минэкономразвития России разработать в 2002 году Методические рекомендации по организации и ведению управленческого учета, в котором раскрыты основные подходы к формированию и представлению управленческой отчетности во втором разделе «Основы управленческой отчетности».

**Система показателей комплексного анализа производственно-хозяйственной деятельности энергетических предприятий**

Лапченко Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Анализ производственно-хозяйственной деятельности является одной из важнейших функций в системе управления энергопредприятием. Он заключается в получении достоверной информации о возможных перспективах и состоянии экономики на энергетическом предприятии или в энергообъединении. Его целью является выработка оптимальных управленческих решений на основе реализации следующих задач: оценка выполнения планов; корректировка планов при изменении условий производства и рыночной ситуации; поиск резервов увеличения объемов реализованной продукции, прибыли, снижения затрат; улучшение организации энергетического производства и управления; учет влияния социально-экономических и экологических факторов на результаты деятельности. Важной методологической чертой экономического анализа является разработка и использование системы показателей, всесторонне характеризующих хозяйственную деятельность предприятий.

В системе итоговых показателей производственно-хозяйственной деятельности энергетических объединений и их подразделений можно выделить следующие группы:

1) производственные показатели – выработка и полезный отпуск электро- и теплоэнергии, расход энергии на собственные нужды и передачу ее по сетям и др.;

2) показатели расхода материалов – топлива, вспомогательных материалов, запасных частей для ремонта (в значительной степени зависят от производственной программы и технического состояния оборудования);

3) экономические показатели – объем реализованной продукции, себестоимость энергии, уровень оплаты труда, прибыль, налоги, направления использования прибыли, показатели финансового состояния (базируются на показателях первых двух групп с добавлением стоимостных характеристик: цен, тарифов, экономических нормативов);

4) экологические показатели – объемы твердых, жидких и газообразных выбросов в окружающую среду, плата за них (связаны с производственными и экономическими показателями);

5) оценочные показатели – коэффициент эффективности использования рабочей мощности для энергообъединения и рабочая мощность для электростанций (используются для расчетов между энергообъединением и генерирующими энергопредприятиями).

**Создание инновационной инфраструктуры  
высокотехнологичного производства**

Русак Е.С.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Создание инновационной и производственной инфраструктуры для организации высокотехнологичного производства в нашей стране и увеличение к 2020 году удельного веса инновационно активных организаций в промышленности до 26 процентов и удельного веса отгруженной инновационной продукции до 21 процента являются приоритетными направлениями обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь.

В числе главных трудностей в развитии инновационной инфраструктуры Беларуси стоит проблема финансирования новаторской деятельности, осуществляемой отечественными предприятиями.

Сегодня главным источником финансирования инноваций в республике остаются собственные средства предприятий, доля которых составляет 67,3 %. Другими источниками являются средства бюджета—1,7 %, иностранных инвесторов (в т. ч. кредиты и займы)— 9,7 %, местных бюджетов—1,4 %, внебюджетных фондов—0,2 %, бюджета Союзного государства—0,1 %.

Значительная часть инновационных предприятий указывает на недостаток собственных и иных средств как основное препятствие инновационной деятельности.

В этой связи приоритетной задачей государственного регулирования инновационной деятельности в Республике Беларусь является формирование системы венчурного финансирования с использованием следующих источников: прибыли Национального банка; ресурсов министерств и ведомств; республиканского и местных бюджетов; доходов от приватизации госсобственности; Белинфонда, пенсионных фондов; прибыли предприятий, освобождаемой от налогов; средств зарубежных фирм и международных организаций и др.

Тымуль Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Энергетика Республики Беларусь в настоящее время претерпевает значительные изменения: переход от государственной монополии к рыночным отношениям, что для предприятий энергетики означает снижение уровня государственной поддержки и работа в условиях оптового рынка, а значит и возникновение большого количества рисков. К наиболее распространенным методам управления рисками относят:

1. Метод избегания рисков или отказ от них: этот метод чаще всего применяется к рискам, которые могут быть катастрофическими для предприятия.

2. Метод принятия риска на себя: суть этого метода – покрытие убытков за счет собственных финансовых возможностей предприятия. Использование данного метода оправдано в тех случаях, если частота наступления убытков невысока, а потенциальные убытки невелики (т. е. их можно покрыть за счет текущих денежных поступлений).

3. Метод предотвращения убытков: суть этого метода управления рисками – проведение мероприятий, направленных на снижение вероятности их наступления. Применение метода оправдано в случаях, если вероятность реализации риска, т. е. вероятность наступления убытка, достаточно велика, а размер возможного ущерба небольшой.

4. Метод уменьшения размера убытков: данный метод применяется для тех рисков, избежать которые невозможно. Суть этого метода – проведение мероприятий, направленных на снижение размера возможного убытка.

5. Страхование: т. е. снижение участия самой организации в возмещении ущерба за счет передачи ею (фирмой-страхователем) страховой компании (страховщику) ответственности по несению риска. Вопросом страхования предприятий энергетики в Республики Беларусь занимается лишь одна организация «Белэксимгарант».

6. Самострахование: данный метод состоит в создании собственных страховых фондов, предназначенных для покрытия убытков, по типу фондов страховых и перестраховочных компаний.

7. Метод передачи риска иной, чем страхование (хеджирование, заключение договоров поручительства и т. д.).

Выбор метода управления каждым конкретным риском должен происходить только после качественной и количественной оценки всех рисков данного предприятия.

УДК 620.9:551

## **Прогнозирование режима энергопотребления**

Нагорнов В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Изменение электрической нагрузки ЭЭС во времени является сложной функцией многих переменных, часть которых носит случайный характер. Вместе с тем на отдельных отрезках времени можно выявить определенную закономерность в формировании режима энергопотребления. Наименьшим таким отрезком является суточный промежуток, в течение которого нагрузка изменяется от максимума до минимума.

Основными параметрами, характеризующими суточный режим электропотребления, являются: максимум и минимум нагрузки, суточное электропотребление, скорость набора и сброса нагрузки, число часов использования максимума нагрузки; коэффициенты: неравномерности, заполнения, интегральный, неравномерность переменной части, средняя нагрузка, соотношения между утренним и вечерним максимумом, дневным и ночным провалами. Однако перечисленные показатели и коэффициенты не могут однозначно определить режим энергопотребления, поэтому хронологически графики трансформируются в средние по продолжительности времени стояния нагрузки.

УДК 658.382.3: 333.9: 626

## **О разработке норм расхода масел на ремонт и эксплуатацию основного и вспомогательного энергетического оборудования**

Лимонов А.И.

Белорусский национальный технический университет

С целью совершенствования отраслевой нормативной базы разработаны нормы расхода масел предназначенных для энергогенерирующих организаций входящих в состав ГПО «Белэнерго». Нормы определяют расход турбинного масла на ремонтные и эксплуатационные нужды для турбин и вспомогательного оборудования ТЭС; масла для редукторов, комплектующихся с оборудованием тракта топливоподачи, гидрозолоудаления, электрофильтрами и т.д.; масел для редукторов и зубчатых муфт кранов на ТЭС; моторных масел на эксплуатационные нужды для дизельных электростанций; турбинного масла на ремонтные и эксплуатационные нужды для ГЭС; масла для электродвигателей ТЭС; масел на ремонтно-

эксплуатационные нужды компрессорных установок ТЭС. Нормы являются основанием при составлении заявок на материалы, а также для расходования и списания на объектах энергогенерирующих организаций.

Нормы на периодическую замену масел разработаны расчетно-аналитическим методом с учетом конструктивных параметров оборудования и установленными правилами его эксплуатационно-технического обслуживания (сроками замена масел). Нормы на возмещение безвозвратных потерь масел рассчитаны статистическим методом с элементами опытного метода. Номенклатура масел соответствуют документации заводов-изготовителей, паспортным данным оборудования или опытным данным энергогенерирующих организаций эксплуатирующего соответствующее оборудование. Нормы разработаны для нормальных условий эксплуатации и предусматривают максимальное время работы оборудования каждого типа со средним расхода масла. На расход масел, не предусмотренных разработанными нормами, могут применяться нормы для аналогичного вида оборудования и работ с поправочными коэффициентами, согласованными с «Заказчиком» или разрабатываются местные нормы, утвержденные в установленном порядке.

Проект норм был направлен в РУП-облэнерго для предложений и замечаний. С учетом полученных замечаний и предложений по проектам были подготовлены окончательные редакции норм, которые согласованы с управлением электростанций и тепловых сетей ГПО «Белэнерго».

Нормы утверждены приказом № 218 от 30.08.2016г. в качестве стандартов предприятия ГПО «Белэнерго» (СТП 3324.10.551-16, СТП 3324.10.553-16, СТП 3324.10.554-16, СТП 3324.10.556-16, СТП 3324.10.559-16, СТП 3324.10.560-16, СТП 3324.10.561-16).

УДК 620.92

### **Солнечная краска**

Гайдук А.А.

Белорусский национальный технический университет

Краска в наше время становится большим, чем мы привыкли ее представлять. Новые возможности получения электрической энергии из солнечной открыла команда исследователей из университета Нотр-Дама. Ученые разработали своего рода фотогальваническую краску, с помощью которой можно превратить здание в солнечную батарею. Помимо солнечного света эта краска преобразует в электричество высокую температуру, обладая еще и термоэлектрическими характеристиками.

Краска получила название Sun-Believable. Она имеет в своей основе наночастицы из диоксида титана, покрытые слоем селенита кадмия и сульфида кадмия. Благодаря малым размерам и оптическим свойствам материалов, эти наночастицы превращались в так называемые квантовые точки, ловушки для фотонов света. А для создания самой красящей основы был использован специальный водно-спиртовой раствор. Данный состав краски позволяет наносить ее без применения специального оборудования на любую токопроводящую поверхность.

Конечно, для получения солнечной электроэнергии недостаточно только покрыть такой краской доступные поверхности - для этого потребуется еще некоторое количество электроники и аккумуляторных батарей, которые будут брать энергию из солнечных батарей, сохранять ее в аккумуляторах и преобразовывать ее в вид, пригодный для дальнейшего использования. Не секрет, что эффективность такой "солнечной краски" чрезвычайно мала, она составляет всего один процент. Но согласно заявлению ученых, стоимость данной краски во много раз ниже, чем стоимость кремниевых фотоэлементов равной мощности, да и покрыть такой краской большие поверхности не составляет никакого труда.

Помимо самого очевидного использования, термоэлектрическая краска может быть использована в качестве источника энергии для малопотребляющих электронных устройств, встраиваемых в одежду человека или в элементы конструкций и сооружений. Также такую краску можно использовать при изготовлении печатаемой электроники, а ее нечувствительность к воздействию воздуха и влаги позволят применять ее для покрытия поверхности объектов, находящихся на открытом воздухе и испытывающих на себе воздействие всех неблагоприятных факторов окружающей среды.

Возможно, в скором времени человек сам будет самой настоящей солнечной батареей, благодаря возможностям "солнечной краски" независимо от погодных условий!

### Литература

<https://phys.org/news/2016-11-thermoelectric-enables-walls-electricity.html>  
<https://phys.org/news/2016-10-thermoelectric-material-sustainable-society.html>.



УДК 330.131

## **Использование метода Вагнера для разделения затрат в энергетике**

Самосюк Н.А.

Белорусский национальный технический университет

В энергетике одним из важнейших вопросов остается распределение общих затрат, связанных с комплексным использованием топлива и тепла, между видами продукции. Существует ряд методов распределения затрат по видам продукции: физический метод, эксергетический метод, нормативный метод, метод Вагнера, метод «раздельной рентабельности», метод В. И. Денисова, экономические методы.

В Республике Беларусь в настоящее время используется физический метод разделения затрат на ТЭЦ между электрической энергией и тепловой. Данный метод не учитывает различных качеств электроэнергии и тепла. Использование физического метода приводит к искусственному снижению себестоимости электрической энергии и, соответственно, завышению себестоимости тепловой энергии.

Наиболее перспективным для разделения общих затрат является использование метода Вагнера. При использовании метода Вагнера (метод «эквивалентной КЭС») расход топлива принимается равным расходу топлива на производство того же количества электроэнергии на замещаемой КЭС. Данный метод прост в использовании, распределяет выигрыш от комбинированной схемы между производителями и потребителями энергии. В основу распределения затрат могут быть положены удельные расходы топлива на КЭС и районной котельной. Остальные методы не могут быть использованы из-за сложной схемы расчетов, что может повлечь за собой получение некорректных значений затрат.

УДК 336.27

## **Антикризисное управление задолженностью организаций**

Макарецкая Т.Д.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

В современных условиях предприятие не может существовать без привлечения заемных средств. Поэтому проблема дебиторской и кредиторской задолженности является актуальной для всех предприятий. Состояние расчетно-платежной дисциплины в организации оказывает существенное влияние на её платежеспособность и финансовую устойчивость. Для оздоровления организаций и улучшения их финансового состояния

можно порекомендовать следующие мероприятия:

- объективно оценить результаты коммерческой деятельности, выявить неиспользованные резервы;
- совершенствовать систему бюджетов, позволяющих оценивать эффективность управленческих решений;
- реализовать излишние товарные запасы;
- поиск путей пополнения источников собственного оборотного капитала за счет внесения дополнительных вкладов учредителей, упорядочения основных фондов;
- следить за своевременным погашением кредиторской задолженности.

Рекомендуется усилить контроль за просроченной дебиторской задолженностью и не допускать нарушения сроков оплаты товарного кредита. Предлагается воспользоваться всеми возможными способами предотвращения и взимания просроченной дебиторской задолженности:

- гарантийными обязательствами погашения задолженности третьей стороной;
- продажей долгов с дисконтом;
- залоговой системой гарантий выполнения обязательств;
- факторингом;
- погашением долговых обязательств высоколиквидными ценностями;
- взиманием просроченной дебиторской задолженности путем объявления должника банкротом или передачей кредитору пакета акций должника;
- оплатой долгов поставками товаров и услугами, которыми владеет покупатель.

В целях улучшения управления дебиторской и кредиторской задолженности:

- избегать дебиторов с высоким риском неоплаты;
- периодически пересматривать предельную сумму отпуска товаров в долг исходя из финансового положения покупателей и своего собственного;
- применять систему скидок для заинтересованности покупателей в скорейшем погашении дебиторской задолженности;
- искать все возможности для покрытия долга перед кредиторами (увеличение объема продаж, сокращение затрат, привлечение денежных средств за счет ускорения оборачиваемости дебиторской задолженности).

Таким образом, предложенные рекомендации будут способствовать выходу предприятий из кризисного состояния, внесут существенный вклад в управление дебиторской и кредиторской задолженностью.

Игнатюк А.С.

Белорусский национальный технический университет

Ухудшение финансово-экономического состояния многих промышленных предприятий Республики Беларусь, произошедшее в период 2012-2017 г., серьезно отразилось не только на сокращении объемов производства, наращивании складских запасов, чрезмерной закредитованности и т.д. Ограниченности в финансовых ресурсах, сокращение платежеспособного спроса вынудило предприятия искать пути снижения издержек, что в свою очередь сказалось на сокращении численности персонала и отсутствии возможности повышения заработной платы оставшимся работникам. С другой стороны на рынке труда увеличилось предложение рабочей силы при сокращении численности вакансий.

Снижение уровня оплаты труда в промышленности, относительно других отраслей приводит к оттоку высококвалифицированного персонала в другие сферы. Работники промышленности в поисках более высокой оплаты труда переходят в сферу продаж, услуг. Распространенными стали случаи обучения на образовательных курсах и перехода в компании, занимающиеся информационными технологиями.

Таким образом, можно констатировать, что промышленность столкнулась с проблемой, когда наиболее активная, способная к обучению, самообразованию и развитию часть персонала, не видя перспектив, уходит, а оставшаяся часть не способна, либо не мотивирована на развитие.

Для сохранения конкурентоспособности промышленные предприятия вынуждены развивать свою продукцию и осваивать новую, что невозможно без квалифицированных, творческих, активных кадров. С другой стороны требуется сокращать затраты, в том числе за счет повышения производительности труда. Эффективными руководителями должно быть найдено оптимальное решение в области управления трудовыми ресурсами. Со стороны научного сообщества актуальной является методическая помощь в разработке эффективной системы управления трудовыми ресурсами, которая позволит мотивировать персонал к внедрению новых технологий и повышению производительности труда в промышленности. В основе системы управления должны лежать в равной степени, как меры материального стимулирования, так и другие способы мотивации (улучшенный социальный пакет, образовательные курсы, стажировки за рубежом, командировки и пр.).

## **Внедрение стандартов в энергетический менеджмент вуза**

Новикова О.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет

Основные направления совершенствования деятельности вузов России в области энергетической эффективности определены в Приказе Минобрнауки РФ от 18 апреля 2012 г. № 309. Персональная ответственность за выполнение требований Федерального закона N 261-ФЗ «Об энергосбережении...» возложена на руководителей подведомственных Министерству организаций.

Приступая к работе по выполнению Приказа, вуз ставил задачу не «создания» или «внедрения», а совершенствования системы энергоменеджмента (СЭнМ) вуза на основе ГОСТ Р ИСО 50001-2012.

Обеспечение стандартизованных физических условий учебы и работы с одновременным обеспечением при этом повышения экономической эффективности показателей в вузе является чрезвычайно сложной задачей. В рассматриваемом проекте решение задачи повышения энергетической эффективности было направлено на снижение показателя стоимости затраченных энергоресурсов в год на одного студента при безусловном выполнении стандартов санитарных норм во всех учебных, технических и бытовых помещениях. Вуз пошел по пути оптимизации процессов на основе стандартизации функций специалистов, ответственных за каждый процесс, без создания новых организационных структур. При этом для выполнения некоторых работ привлекаются студенты старших курсов в рамках выполнения практических, курсовых и дипломных работ.

Участие студентов в данной работе позволяет выполнять такие требования стандартов СДИО как контекст инженерного образования, введение в инженерную деятельность, опыт ведения проектно-внедренческой деятельности, рабочее пространство инженерной деятельности, опыт интегрированного обучения, активное обучение.

В начале проекта был издан приказ ректора, в котором были сформулированы соответствующие задачи и определен персональный состав рабочей группы по совершенствованию СЭнМ (РГ).

На следующем шаге было разработано Положение о РГ и план работ, предусматривавший в итоге проведение сертификации первой очереди СЭнМ на соответствие ГОСТ Р ИСО 50001-2012.

Новым документом СЭнМ вуза явилось «Руководство по СЭнМ». Оно включило в себя все основные положения СЭнМ вуза, соответствующей стандарту ГОСТ Р 50001-2012 и действующим регламентам СМК вуза.

## **Формирование мотивации персонала на основании психотипов модели Эннеаграмма**

ТабакOVA А.С., Новикова О.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет

Современные теории психологии утверждают, что для того, чтобы выявить методы мотивации, необходимо определить психотип человека, так как в зависимости от того, к какому психотипу относится человек, необходимо использовать разные методики. Одним из передовых методов по определению психотипов и как следствие выявлению методов мотивации является Эннеаграмма. Эннеаграмма переводится с греческого «девять фигур» (ennea - девять и grammos -фигура). Это модель, которая описывает устройство человеческой личности на основании девяти «глубинных подсознательных стремлений» и их влияния на мыслительные, эмоциональные и поведенческие стратегии и мировоззрение. Эннеаграмма выявляет девять типов личности.

Психотип № 1 – Перфекционист. Основными характеристиками данного психотипа являются рациональность, принципиальность, целеустремленность, самоконтроль и т.д. Люди данного типа легко взаимодействуют с окружающим. Им нравится помогать, и они хорошо понимают людей. Для них крайне важно все сделать правильно, поэтому они фокусируются на том, что нужно исправить. Единицы всегда выполняют задания в срок, так как у них сильно развито чувство долга. К данному психотипу относятся разумные, компетентные и рациональные люди, которые обладают умением максимально сконцентрироваться на правильном выполнении задания и не расслабляются до тех пор, пока не доведут до совершенства каждую деталь проекта.

Психотип № 2 – «Помощник». Основными характеристиками данного психотипа являются забота, благородство, демонстративность, собственничество. Люди данного типа легко взаимодействуют с окружающими. Они любят помогать и поддерживать других людей, получая взамен благодарность, что является признаком уважения. Двойкам важно нравиться окружающим и устанавливать теплые и дружеские отношения с коллективом. Они всегда готовы помочь коллегам, несмотря на собственную усталость или загруженность. Двойкам важно стать ключевой фигурой в организации и ощущать свою незаменимость. Однако, если окружающие отвергают их помощь или проявляют неблагодарность они могут разозлиться.

Психотип № 3 – «Достигатель». Данный психотип ориентирован на успех и является крайне прагматичным, то есть легко приспосабливается, превосходит окружающих и заботится о своем имидже. Для троек очень важно быть уверенными в том, что их жизнь успешна. Тройки полностью идентифицируют себя со

своей работой: «Я – это то, что я делаю» и придадут большое значение статусу и успеху. Для троек важно быть эффективными и продуктивными, а также достигать поставленные цели любыми возможными способами.

Психотип №4 – «Индивидуалист». Человек данного психотипа характеризуется чувствительностью, эмоциональной выразительностью, драматичностью, поглощенностью своими мыслями, резкой темпераментностью. Люди этого типа особое внимание уделяют своим чувствам. Обычно это творческие натуры, поскольку эта деятельность помогает им проявлять свой внутренний мир — эмоции, настроение, фантазии.

Психотип №5 – «Мыслитель». Человеку данного психотипа свойственны следующие черты: интеллектуальность, проницательность, инновативность, скрытность, изолированность. Люди данного психотипа, как правило, настоящие эксперты в той области, которая их интересует. Они любят собирать информацию, накапливать знания и обладают выдающимися мыслительными способностями.

Психотип №6 – «Скептик». Людям этого типа прекрасно удается видеть разные стороны вопроса, взвешивать плюсы и минусы плана, выявлять его слабые места. Они предпочитают проанализировать «наихудший сценарий» развития событий, чтобы иметь возможность его предотвратить. Однако из-за постоянного анализа и взвешивания им бывает сложно принимать решения.

Психотип №7 – «Энтузиаст». Основными характеристиками людей седьмого психотипа являются: занятость, веселье, спонтанность, многогранность, рассеянность. Для людей Седьмого типа очень важно получать удовольствие от того, чем они занимаются. Это очень креативные сотрудники, настоящие генераторы идей. Однако им зачастую не хватает терпения самим реализовывать планы — ведь их сознание уже увлечено новыми красочными проектами.

Психотип – 8 «Босс». Основными характерными чертами людей восьмого психотипа являются: сила, доминирование, уверенность в себе, решительность, воля, склонность к конфронтации. Люди этого типа — прирожденные лидеры. Они обладают хорошими организаторскими способностями и обычно берут всю ответственность на себя.

Психотип №9 – «Миротворец». Основными характеристика человека, относящегося к девятому психотипу являются: легкий характер, восприимчивость, услужливость и самодовольность. Люди Девятого типа хотят жить приятной жизнью и стараются избегать всего, что могло бы вызвать споры или разногласия. Им нравится находиться в зоне комфорта и поэтому они часто откладывают неприятности на потом.

Проведенное авторами исследование позволит руководителям любых предприятий находить методы мотивации сотрудников, находящихся у них в подчинении, что позволит повысить уровень деятельности компании и ее конкурентоспособность.

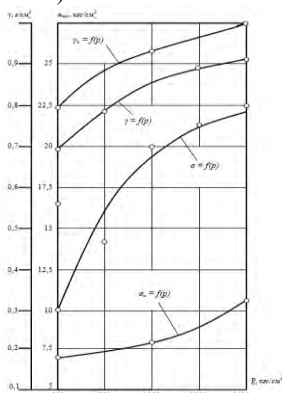
# **Энергетическое строительство**

**Анализ факторов, влияющих на процесс брикетирования растительных отходов со связующими, при производстве альтернативных источников энергии, пригодных для сжигания в котельных, работающих на твердом топливе**

Хрусталеv Б.М., Пехота А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Как источник сырья для прессования топливных брикетов, отходы растениеводства являются достаточно перспективным ресурсом, который на местах зачастую используют крайне ограниченно и нерационально. Механическая переработка таких отходов традиционными способами вызывает сложности при формировании качественного твердого топлива из-за малого содержания лигнина в соломе и трудности регулирования необходимых пределов влажности (5-12%) измельченной массы соломы.



Влияние удельного давления на прочность и плотность брикетов из соломы и нефтесодержащих отходов

а уменьшение наблюдается при использовании в составе соломы озимой ржи и озимой пшеницы на 0,14~0,19 % по массе. На рисунке представлен график изменения плотности и прочностных характеристик брикетированного топлива из смеси соломы и ДОМР. Основная концепция предлагаемого использования нефтесодержащих отходов заключается в добавлении определённой экологически безопасной пропорции углеводородсодержащих отходов при производстве твердого топлива на основе растительного сырья.

На наш взгляд, для решения ряда проблем рациональным является получение топлива из соломы с использованием связующего компонента. Брикеты, изготовленные из смеси соломы и донных отложений мазутных резервуаров (ДОМР), по теплотворной способности не отличаются от брикетированного древесного топлива типа RUF, Pini Kei. При их сравнении это топливо имеет зольность в пределах 10-13,8 %.

Содержания серы в полученных образцах топлива оказывает влияние не только углеводородсодержащий компонент, но и вид используемой в составе растительной культуры соломы. Отмечено увеличение содержания серы при использовании соломы рапсовых культур до 0,56 % по массе,



## **Повышение эффективности биогазовых технологий**

Величко В.В., Уласевич М.В., Кундас С.П.

Белорусский национальный технический университет

Биогазовые технологии получили широкое распространение во многих странах. В 2016 году в Европейском союзе насчитывалось 17376 биогазовых установок, прогнозируется, что к 2022 году мировое производство биогаза составит 407 ТВт·ч в пересчете на тепловую энергию. В Республике Беларусь в настоящее время функционирует 17 биогазовых установок общей электрической мощностью в 24 МВт.

В работе были рассмотрены основные проблемы, возникающие при эксплуатации биогазовых установок и возможные методы их решения. Исходя из проведенного анализа рекомендуется располагать биогазовые установки в непосредственной близости от источников используемого субстрата, а растительные субстраты с сезонной зависимостью рекомендуется силосовать и складировать. В реакторе биогазовой установки необходимо поддерживать температуру на уровне 35–38 °С и показатель кислотности в нейтральном диапазоне. Метанообразующие бактерии должны обеспечиваться необходимыми микроэлементами и питательными веществами. Конструктивные элементы биогазовых установок выбираются исходя из типа и объема используемых субстратов, условий эксплуатации и других параметров, при этом оборудование должно быть надежным, простым в ремонте и использовании и потреблять минимум электрической энергии. Предварительная обработка субстрата позволяет увеличить площадь контактной поверхности между субстратом и микроорганизмами, разрушить кристаллическую структуру субстрата, при этом значительно увеличивается удельный выход биогаза и скорость разложения субстрата. Перебродивший субстрат (прежде всего, жидкую фракцию) целесообразно использовать в качестве удобрения, поскольку такое удобрение содержит большое количество питательных веществ и свободно от сорняков. Выработанный биогаз должен проходить специальную очистку, степень которой зависит от того, где планируется его использовать. При сжигании биогаза на блочных ТЭЦ нужно использовать когенерационный и тригенерационные режимы. Так же возможно размещение возле биогазовых установок теплиц и сушильных комплексов.

**Перспективы использования солнечной энергии в системах теплоснабжения применительно к условиям Республики Кыргызстан**

<sup>1</sup>Турусбеков С. К., <sup>2</sup>Кундас С.П.

<sup>1</sup>Международный Университет Кыргызстана

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Выступая на конференции ООН по климату в Париже, президент Кыргызской Республики Алмазбек Атамбаев, сообщил о том, что к 2025 году общая площадь ледников в Кыргызстане в среднем может сократиться на 30-40%, вследствие чего водность рек Центральной Азии может снизиться на 25-35%. По прогнозам, к 2100 году ледники Кыргызстана могут вообще исчезнуть с карты Земли.

Поэтому использование в Кыргызстане огромного водного потенциала для производства энергии будет проблематичным в связи с большой зависимостью гидроэнергетики от природно-климатических факторов, что связано с глобальным потеплением климата, циклическим изменением водного потенциала и др. причинами.

Исходя из этого, Кыргызская Республика, как и все мировое цивилизованное сообщество должна ориентироваться на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). При этом, исходя из климатических условий страны, использование солнечной энергии должно играть ведущую роль в энергоснабжении.

В настоящее время в стране доля ВИЭ в энергетическом балансе составляет менее 1%. Одной из проблем в развитии этого направления на сегодняшний день является отсутствие соответствующей нормативно-правовой базы и низкие цены на электричество.

Пока в Кыргызстане небольшие фотоэлектрические батареи используются в основном на малых предприятиях и в домохозяйствах. Проектом «Надежное энергоснабжение сельских ФАПов» в рамках Единой Программы ООН ЮНИДО совместно с ПРООН и ВОЗ было установлено на 19 фельдшерско-акушерских пунктах во всех областях республики (мощность – 1,5 – 3,0 кВт), что позволило обеспечить бесперебойную работу этих медицинских учреждений, непрерывное предоставление медицинских услуг населению, в том числе женщинам и детям.

Следует отметить, что расширение использования солнечной энергии в Кыргызской Республике может оказать большое влияние на эффективную реализацию энергетической стратегии развития страны за счет снижения ее зависимости от импорта топлива и развертывания программы борьбы с бедностью с помощью создания местных систем производства энергии.

## Технологии производства железобетонных изделий и подготовки цементобетонных покрытий

Сизов В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Основным энергопотребляющим элементом при изготовлении железобетонных изделий является тепловлажностная обработка (ТВО), которая осуществляется различными способами. Для сокращения продолжительности ТВО обычно используют предварительный разогрев бетонных смесей, в том числе и за счет предварительно разогретых крупных заполнителей с долей до 50-60 % и воды. Цементобетонные покрытия в Республике Беларусь широко используются в качестве дорожного полотна толщиной 0,24 м с поперечными швами сжатия. Использование цементобетонных покрытий на основе предварительно разогретых заполнителей приводит к увеличению длительности производства работ в переходные периоды, быстрейшему набору прочности и вводу дороги в эксплуатацию. Для определения эффективности применения предварительно разогретых заполнителей можно использовать данные ГБ 11-120, по определению скорости подъема температур массивом изделия в процессе ТВО, один из результатов которых приведен на рис. 1. Как видно из представленного графика средняя температура панели практически достигает температуры окружающей среды при двухстороннем прогреве за 5-6 часов, а при одностороннем за 13-14 часов. Время необходимое для разогрева до температуры окружающей среды при тех же начальных условиях представлено на рис. 2.

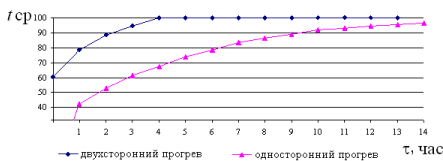


Рис. 1

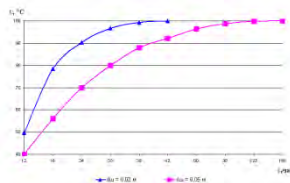


Рис. 2

Из представленных графических зависимостей видно, что разогреть составляющие бетонной смеси можно за время значительно меньшее, чем разогреть отформованное изделие, а также уменьшится и время остывания после укладки цементобетона, что позволяет увеличить сроки возведения полотна дороги и ускорить время ввода его в эксплуатацию.

Коржук Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность работы современных животноводческих хозяйств и птицефабрик во многом зависит от комфортных условий содержания скота и птицы. Все животные и птицы сильно подвержены влиянию внешних условий. Создание благоприятного микроклимата в хлевах лежит в основе современного подхода в работе животноводов. Микроклимат – это не только система вентиляции, но и температурный режим, относительная влажность, содержание углекислых газов и аммиака в воздухе. При этом, должен быть учтен весь комплекс параметров, а не только влияние одного, в определенный промежуток времени.

Учитывая весь ряд факторов, было рассмотрено несколько систем микроклимата для обеспечения комфортного содержания скота, которые включают обязательные компоненты: вентиляцию, отопление, охлаждение, мониторинг и управление системами.

Основываясь на том, какие животные содержатся в помещении, какие вредности выделяют и от типа строения применяются следующие типы вытяжных систем вентиляции:

- 1) через воздухопроводы;
- 2) поперечная;
- 3) тоннельная;
- 4) комбинированная;
- 5) рассеянная;
- 6) «коридорная» вентиляция;
- 7) с применением воздухопроводов равномерной подачи

В результате рассмотрения всех видов вентиляции животноводческих помещений был сделан вывод о необходимости использования совмещенной системы вентиляции и отопления, но при этом воздух должен перегреваться.

Максимальная температура воздуха, подаваемого системой воздушного отопления не должна превышать 70 °С, а поверхности нагревательных приборов – 95 °С.

При расчете теплопроизводительности совмещенных систем отопления следует учитывать тепловыделения от животных и расходы теплоты на испарение влаги из помета и подстилки.

Для обеспечения в животноводческих помещениях необходимого микроклимата рекомендуется применение программного автоматического управления.

**Современные методы определения термического сопротивления  
трубопроводов**

Сизов В.Д., Марков А.И.

Белорусский национальный технический университет

Одной из актуальных проблем, в повышении энергоэффективности, является применение простых и надежных способов определения потерь теплоты через ограждающие конструкции объекта в окружающую среду и анализ его теплофизических свойств.

На сегодняшний день существует ряд программных продуктов, упрощающих теплогидравлический расчет участков тепловых сетей от источника до потребителя, которые различаются подходами к определению тепловых потерь.

Фактические значения термического сопротивления тепловой изоляции трубопроводов, определенные на основе испытаний являются наиболее достоверными, но проведение тепловых испытаний по определению количественных значений тепловых потерь через изоляцию трубопроводов по существующим методикам требуют больших подготовительных работ, материальных ресурсов и прекращения теплоснабжения потребителей на время проведения испытаний.

Несмотря на то, что в современной литературе уделяется достаточно большое внимание вопросам, связанным с определением тепловых потерь в тепловых сетях различными способами, в настоящее время отсутствует целостный подход к оценке термического сопротивления изоляции реальных участков систем транспортировки тепла, учитывающий все возможные негативные факторы и процессы, возникающие при эксплуатации. Нет единой методики расчета тепловых потерь, учитывающей неоднородность теплоизоляции по длине трубопровода, а также факторы, снижающие теплозащитные свойства изоляционного покрытия: старение, изменение толщины изоляции, частичное отсутствие и увлажнение изоляции на некоторых участках тепло-трассы от источника до потребителя. Отсутствуют также методики проведения натурных исследований термического сопротивления цилиндрических поверхностей теплоизоляции теплопроводов.

Целью работы является анализ имеющихся подходов к расчету тепловых потерь теплопроводов и аналитическая оценка фактического термического сопротивления изоляции трубопроводов при транспортировке теплоносителя с учетом их технического состояния и реальных условий эксплуатации тепловых сетей.

**Компрессорные станции природного и нефтяного газа**

Волохович Д.А., Копко В.М.

Белорусский национальный технический университет

Сопоставление себестоимости энергии на валу нагнетателя  $C_{\text{КС}}$  при использовании газоперекачивающего агрегата (ГПА) с газотурбинным и электроприводом показывает, что при современном уровне цен на топливный газ и электрическую энергию при централизованных поставках, эта стоимость выше для газоперекачивающего агрегата с электроприводом (ЭГПА). Это утверждение остается справедливым, если стоимость газа на собственные нужды принять равной средневзвешенной цене природного газа, рекомендуемой для применения в «Комплексной программе реконструкции и технического перевооружения объектов транспорта газа, для дизельной компрессорной станции (ДКС) и компрессорной станции (КС) подземного хранилища газа (ПХГ) на период 2002-2006 г.г.»,  $\mu_{\text{МГ}} = 900$  руб./1000 м<sup>3</sup>. Даже в случае, если стоимость топливного газа принять равной  $\mu_{\text{МГ}} = 3000$  руб./1000 м<sup>3</sup>, что существенно выше цены топливного газа на собственные нужды в настоящее время, при сохранении той же цены на электрическую энергию, газотурбинный привод является вполне конкурентоспособным.

Результаты расчетов показывают, что экономическая целесообразность использования электроприводных агрегатов по сравнению с современными газотурбинными установками (ГТУ) начинает проявляться при соотношении цен на природный газ и электроэнергию примерно 2,5-3,5 к 1. ГТУ в большинстве своем имеют две ступени сжатия воздуха без его промежуточного охлаждения между компрессорами и в конструктивном отношении выполненные как трехвальные установки. Подобные схемы позволяют получить высокие соотношения давлений сжатия в цикле – на уровне 16-20, что в сочетании с относительно высокими температурами газов перед турбиной высокого давления в авиационных ГТУ (1000-1150 °С) позволяет получать КПД установки на уровне 34-35% и даже выше.

Регулирование режимов работы КС, оснащенных ГПА с газотурбинным приводом, вызывает существенно более низкие энергетические потери, чем регулирование режимов работы КС, оснащенных ЭГПА, не имеющих системы регулирования по частоте вращения приводящего электродвигателя. ГТУ повышают свою мощность с понижением температуры наружного воздуха, что благоприятно сказывается на работе газотурбинных газоперекачивающих агрегатов в зимний период эксплуатации, когда подача газа по газопроводам, как правило, повышается.

**Выбор оптимального проектного и эксплуатационного температурного графика системы теплоснабжения**

Майсеенко Е.

Белорусский национальный технический университет

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

В качестве энергетического критерия оптимальности при выборе эксплуатационного температурного графика в действующей системе теплоснабжения может быть принят минимум расхода топлива, требуемого для функционирования системы на перекачку ( $V_{пер}$ ); производство теплоты, теряемой при транспорте теплоносителя ( $V_{тп}$ ); расход топлива на производство теплоты, теряемой с перетопами зданий ( $V_{пз}$ ); изменение расхода топлива в энергосистеме при изменении выработки на тепловом потреблении ( $V_{ээ}$ ); изменение расхода топлива на отпуск теплоты от источника в связи с нагревом сетевой воды при ее сжатии в насосах ( $V_{св}$ ):

$$V = V_{пер} + V_{тп} + V_{пз} + V_{ээ} + V_{св} = \min.$$

Были выполнены расчеты и анализ влияния температурных графиков на каждую из его составляющих, для следующих исходных данных: температурные графики от 150/70 до 100/70 °С; температура прямой сетевой воды в точке среза графика принималась равной 65 и 60 °С; затраты на перекачку теплоносителя принимались равными 5, 10 и 15 (кВт.ч)/МВт; тепловые потери в сетях принимались равными 5, 10 и 15% от суммарного отпуска теплоты при графике 150/70 °С (при других графиках велся их пересчет); выработка электроэнергии на тепловом потреблении определялась для теплофикационной турбины с двухступенчатым подогревом сетевой воды.

Для систем теплоснабжения с котельными переход на пониженный температурный график прямой сетевой воды вызывает увеличение затрат на перекачку теплоносителя, ограничивает тепловой резерв магистралей и может потребовать внесения изменений в тепловую схему котельной.

**Численное моделирование микроклимата костела Тела Господня  
в г. Несвиже для выбора оптимального варианта отопления**

Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Устройство отопления в храме, являющемся историко-культурной ценностью, представляет собой сложную и нетривиальную задачу.

Цель исследования – выбрать оптимальный тип нагревателей и места их размещения. Чтобы максимально учесть все особенности задачи, применен метод численного моделирования. Использован обновленный программный комплекс расчета сопряженного теплообмена во внутреннем пространстве помещения и ограждениях, изначально разработанный автором в ходе работы над кандидатской диссертацией под научным руководством доктора техн. наук, профессора Дячека П.И.

Рассмотрены следующие варианты отопления: 1) с использованием плитусных конвекторов, расположенных у наружной стены на полу и консолях второго и третьего уровня, с мощностью, заданной по балансу соответствующей зоны; 2) с напольным отоплением; 3) с использованием конвективных нагревателей, расположенных под скамьями для прихожан. Суммарная расчетная мощность отопительных приборов во всех вариантах задана одинаковой и определена по традиционной методике.

В работе проанализированы расчетные поля параметров микроклимата, результирующие распределения температуры, конвективных и лучистых потоков теплоты на внутренней поверхности наружной стены, сопоставлены средние значения параметров. Выявлено, что наилучшим вариантом отопления, с точки зрения эффективного использования тепловой энергии и обеспечения более комфортных условий, является размещение нагревателей конвективного типа под скамьями для посетителей. Второй по эффективности вариант – это использование плитусных конвекторов, однако потенциально они могут нанести вред историческим росписям за счет чрезмерного нагрева внутренних поверхностей ограждений, поэтому их применение должно быть ограничено требованием соблюдать максимально допустимую температуру поверхностей стен с росписями. Напольное отопление может быть использовано, если обеспечить размещение под нагревательными элементами слоя тепловой изоляции с термическим сопротивлением, снижающим количество непродуктивно теряемой теплоты до приемлемого уровня. Однако в данном случае покрытие пола костёла нельзя нарушать, поскольку оно представляет собой историческую ценность, поэтому этот вариант отопления следует признать непригодным.



**Совершенствование типовой учебной программы по дисциплине  
«Инженерная экология»**

Бракович И.С.

Белорусский национальный технический университет

Предыдущая типовая учебная программа для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» была разработана и утверждена в установленном порядке в 2013 году. Она включала 9 основных разделов, которые в свою очередь состояли из подразделов, охватывающих основные направления тематики по инженерной экологии. Информационно-методическая часть состояла из примерного перечня тем практических занятий и примерного содержания курсовой работы. Перечень основной литературы состоял из 4 источников (учебники и учебные пособия) и дополнительной литературы – 5 источников.

В связи с целым рядом изменений нормативов по формированию учебных планов и программ учебных дисциплин всех форм обучения, введением новой обязательной терминологии, которые произошли с 2014 года, назрела необходимость корректировки типовой учебной программы дисциплины «Инженерная экология».

Ввиду исключения дисциплины «Основы экологии» из учебного плана студентов дневной формы получения образования, необходимо было дать студентам основы знаний по экологии, но не биологической составляющей, а в широком спектре – спектре охраны окружающей среды. Кроме того, увеличение числа аудиторных часов по практическим занятиям в новых учебных планах, потребовало серьезного расширения их тематики. Для этого был разработан целый ряд новых инженерно-экологических задач, которые студенты должны были выполнять во время занятий. Введение новой терминологии, особенно в части наименования химических соединений, потребовало также проведение соответствующей корректировки.

Практически все изменения, которые коснулись типовой учебной программы по дисциплине «Инженерная экология», были учтены при издании учебного пособия «Инженерная экология и очистка выбросов промышленных предприятий» (авторы: Б.М. Хрусталеv, В.Д. Сизов, И.С. Бракович, И.М. Золотарева. – Минск: изд-во ООО «Витпостер», 2014. – 492 с.). В настоящее время существует необходимость подготовки к изданию методических указаний по выполнению курсовой работы и проведению практических занятий с расчетами основных показателей состояния окружающей среды.

## Сравнительный анализ технических характеристик немецких и отечественных фильтров

Кислая Ю.И., Бракович И.С.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее популярными являются несколько типов фильтров для очистки воздуха: механические, угольные, электростатические, фотокаталитические и фильтры HEPA. Механические фильтры используются в системах предварительной очистки. Фильтрующим элементом являются очень мелкая полимерная, металлическая сетка, грубая ткань. Основным адсорбирующий элемент в адсорбционных фильтрах – уголь, который применяется в приборах для защиты от токсичных газов. Электростатические фильтры удаляют очень мелкие частицы – размером до 0,01 мкм. Основаны на принципе притяжения противоположных электрических зарядов. HEPA-фильтры изготавливаются из специального волокнистого материала и идеально справляются с пылью, пылью от цемента, бактериями. В фотокаталитических фильтрах применяется технология фотокатализа. Достоинством таких фильтров является длительный срок службы.

Рассмотрим фильтр HEPA типа ФАО (ООО «МИР ФИЛЬТРОВ», Беларусь) и фильтр HS-Mikro SF and HS-Mikro RF (Luftfilterbau, Германия). HEPA-фильтры ФАО предназначены для очистки воздуха в медицинских учреждениях, на предприятиях фармацевтической промышленности. Фильтровальный материал – гофрированная стеклоткань, сепаратор – алюминиевая фольга, рабочая температура – до 70 °С. HS-Mikro SF используются в стерильных и чистых помещениях. Фильтр имеет гофрированную конструкцию и оснащен термопластичным сепаратором, рабочая температура – до 120 °С. Фильтр HS-Mikro SF and HS-Mikro RF по некоторым техническим характеристикам превосходит белорусские аналоги, но фильтр немецкого производства имеет более высокую рабочую температуру. Рассмотрим КОМПАКТНЫЙ ФИЛЬТР ФВКОМ, ФЯС-С-К W-ТИПА УГОЛЬНЫЙ («Западный проект», Беларусь) и фильтр TYPE ACFI (Trox technik, Германия). ФИЛЬТР ФВКОМ применяется при очистке от пыли, газов и неприятных запахов рециркуляционного и поступающего снаружи воздуха. Фильтрующий материал состоит из угольного адсорбционного материала без дополнительного предфильтра. TYPE ACFI (Trox technik, Германия) предназначен для адсорбции газообразных пахучих и загрязняющих веществ. Фильтр доступен с различными типами углерода, в него, в отличие от фильтра ФВКОМ, встроен F7 предфильтр из нетканых волокон, увеличивающий степень очистки.

## **Нормирование расхода приточного воздуха и энергоэффективность жилых зданий**

Борухова Л.В., Шибeko А.С.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время снижение энергозатрат при эксплуатации жилых зданий достигается комплексом организационно-технических мероприятий, включающим в себя утепление оболочки здания; оптимизацию архитектурно-планировочных решений; утилизацию теплоты вторичных энергетических ресурсов; использование энергии возобновляемых источников; оптимизацию систем энергоснабжения; установку энергосберегающего оборудования и др.

В структуре теплопотерь современного жилого здания большую часть составляют теплотраты на нагрев инфильтрующегося воздуха, доля которых достигает 53%. Это связано с ужесточением норм по теплозащите зданий. Около 30 лет назад соотношение было противоположным: около 70% составляли трансмиссионные теплопотери, остальное – на нагрев воздуха. Уменьшения доли теплопотерь на нагрев приточного воздуха можно достичь двумя способами. Первый заключается в проектировании централизованной приточно-вытяжной вентиляции в жилых зданиях, что приводит к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат. Второй способ состоит в уменьшении теплопотерь за счёт снижения расхода приточного воздуха. В настоящее время норма расхода приточного воздуха для жилых зданий установлен в размере  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади. Как отмечалось ранее, данная норма расхода воздуха получена исходя из исследований К. Флюгге, который установил, что на 1 человека должно подаваться  $36 \text{ м}^3/\text{ч}$  чистого воздуха. При принятой в СССР норме жилой площади  $12 \text{ м}^2$  на человека и получается нормативный расход приточного воздуха. Однако в Республике Беларусь обеспеченность жилой площадью составляет  $26,5 \text{ м}^2$  на человека (данные на 01.01.2016 г.). Исходя из этого получаем, что нормативный расход приточного воздуха должен составлять  $36/26,5 \approx 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади.

В результате расчёта для 9-этажного жилого дома было установлено, что показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию при расчёте из расхода приточного воздуха  $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади приблизительно на 60% меньше, чем при существующей норме. К тому же, класс по энергоэффективности получился выше, при этом не произошло никаких изменений в планировке и конструкциях здания. Таким образом, существующая норма нуждается в изменении.

**Совершенствование систем отопления и вентиляции  
костёла Божьего Тела в г. Несвиже**

Борухова Л.В., Кунц О.И., Криницина Д.В  
Белорусский национальный технический университет

Костёл Божьего Тела в г. Несвиже является старинным зданием 16 века. За весь период эксплуатации здание было неотапливаемым, вентиляция осуществлялась естественным путём: приток – неорганизованный через оконные заполнения и при открывании дверей; вытяжка – организованная через отверстия в перекрытии среднего и боковых нефов, а также через проемы в нижней части барабана и оконные проемы на фасадах под куполом здания.

В процессе реконструкции здания необходимо было принять решение об организации отопления и вентиляции Костёла. В ходе проведенного обследования было выявлено, что вентиляция Костёла не осуществляется, так как проемы для удаления воздуха закрыты щитами. Параметры микроклимата в помещениях не соответствуют требуемым значениям, на внутренних поверхностях наружных ограждений здания обнаружены следы конденсации влаги и нарушения внутренней отделки.

Анализ проведенных исследований, теплового баланса и воздухообмена помещений для различных периодов года позволил сделать выводы об организации отопления и вентиляции. По оценочному расчету потери теплоты составили 85 кВт. Отопление может быть напольным, плитусным, воздушным (при условии организации механической вентиляции) и совмещённым. Вентиляция помещений может быть либо естественная, либо механическая. При вместимости храма 200 человек и санитарно-гигиенической норме, равной 30 м<sup>3</sup>/ч на человека, расчётный воздухообмен составит 6000 м<sup>3</sup>/ч. В случае применения механической приточной системы вентиляции можно предусматривать воздушное отопление здания, совмещенное с системой вентиляции. Расчёты показали, что, с учётом температуры на поверхности пола 23 С, тепловой поток от системы напольного отопления в основном помещении храма составит 75 кВт, т. е. 88% от суммарных теплопотерь здания. Недостающее количество теплоты можно восполнить системой воздушного отопления.

Для организации естественной вентиляции проемы, закрытые щитами, необходимо открыть. Высота решеток, устанавливаемых в проемы, определена расчетом на необходимый воздухообмен таким образом, чтобы решетки не были видны с точки входа человека в здание. Ориентировочно высота решетки составит 420 мм.

## Теплотехнические свойства древесины

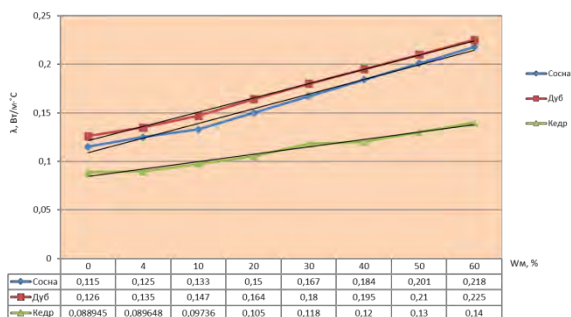
Борухова Л.В., Лешкевич В.В.

Гадлевская Е.А., Немкович Е.Г., Свидинская А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Древесина получила широкое применение в строительстве, чаще всего используют брусы из сосны, кедра, дуба и т.д. Задачей данной работы стало определение теплофизических свойств кедра, которых в нормативных документах Республики Беларусь нет.

В экспериментальных исследованиях использовался прибор НFM436 Lambda, создающий стационарный тепловой поток. В прибор был помещён образец кедра размерами 300х300х100 мм, направление движения теплового потока – перпендикулярно волокнам. Во избежание погрешностей, связанных с расколом древесины, использована фольга. Проведены пять опытов со средней температурой образца 24-25°C, разница температур между верхом и низом образца составляла для первых 3-х опытов 15°C, а для последующих – 19,4°C.



При массовой влажности 4% коэффициент теплопроводности у сосны будет больше на 30 %, а при массовой влажности 60 % – на 60 %. При изменении массовой влажности интенсивность увеличения коэффициента теплопроводности у кедра значительно меньше, чем у сосны или дуба.

Сопrotивление теплопередаче для однородной конструкции, при коэффициенте теплопроводности  $\lambda=0,14$  Вт/(м·°C) и толщине бруса  $\delta=200$ мм, составило  $R=1,59$  м<sup>2</sup>·C/Вт, а при коэффициенте теплопроводности  $\lambda=0,089$  Вт/(м·°C) и той же толщине –  $R=2,41$  м<sup>2</sup>·C/Вт. Для конструкции с прослойкой из утеплителя при тех же значениях коэффициентов теплопроводности и толщинах значения сопротивлений теплопередаче соответственно равны  $R=2,12$  м<sup>2</sup>·C/Вт и  $R=2,63$  м<sup>2</sup>·C/Вт.

**Влияние окружающей среды на параметры льда  
МКСК «Минск-Арена»**

Ливанский Д.Г.

Белорусский национальный технический университет

Многопрофильный культурно-спортивный комплекс «Минск-Арена» является уникальным комплексом – по многофункциональности, сложности технического исполнения, оборудованию и оснащению – одним из крупнейших по вместительности ледовых площадок Республики Беларусь и Европы. С целью совершенствования технических решений при проектировании, строительстве и эксплуатации ледовых дворцов на МКСК «Минск-Арена» было проведено исследование влияния окружающей среды на параметры льда.

Исследование проводилось с помощью натуральных измерений температуры на поверхности ледового поля, визуализации воздушных потоков с помощью специального дыма, тепловизионной съемки ледовой поверхности, а также выполнялось математическое моделирование полей температуры и скорости во внутреннем пространстве помещения, распределения температуры в конструкции основания ледового поля.

Цель визуализации воздушных потоков заключалась в определении наличия влияния приточных струй на качество льда ледовой площадки и верификации результатов численного моделирования реальным физическим процессам.

Визуализация воздушных потоков производилась с помощью дымовых шашек, специально предназначенных для применения в системах вентиляции при её наладке.

Для визуализации воздушных потоков от воздухораспределителей была выбрана приточная система АР, обслуживающая зону над ледовой площадкой. Система АР подает воздух через воздухораспределители, расположенные на высоте 26 м сосредоточенными струями и направленные вертикально вниз на лед. Приборы освещения были включены в режиме проведения телевизионной съемки. Зрители на момент проведения эксперимента отсутствовали.

Задымление потока приточного воздуха производилось при четырех различных вариантах совместной работы приточных и вытяжных установок обслуживающих помещение ледовой арены. Для сравнительного анализа был выбран вариант, в котором работали все приточно-вытяжные установки обслуживающие помещение с ледовой ареной.

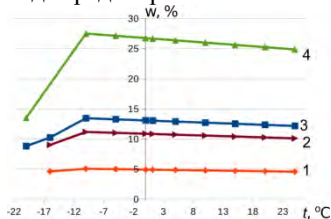
## Определение равновесной сорбционной влажности строительных материалов при различных температурах

<sup>1</sup>Лешкевич В.В., <sup>2</sup>Крутилин А.Б., <sup>1</sup>Черванёва Е.А., <sup>1</sup>Якимович Д.Д.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>РУП «Институт БелНИИС»

При положительных температурах приемлемыми являются расчетные методы определения равновесной сорбционной влажности. При отрицательных температурах это представляет собой довольно сложную задачу, связанную со следующими факторами. При взвешивании в условиях лаборатории на поверхности образцов может образовываться конденсат, что приводит к искажению результатов, а взвешивание образцов внутри холодной камеры является невозможным по причине малых размеров термостатированной камеры и ввиду отсутствия метрологического обеспечения оборудования при низких температурах. Выполнено определение влияния образования конденсата на поверхности на получаемые значения сорбционной влажности образцов ряда материалов. Прирост массы образцов при взвешивании их в «тёплом» помещении после извлечения из камеры с низкой температурой составил для ячеистого бетона от 0,07 до 0,2%, для полимерно-цементной штукатурки от 0,01 до 0,03%, для фильтровальной бумаги от 0,035 до 0,7%. Ввиду малых значений изменения массы охлажденных образцов в процессе взвешивания вполне применимым является эксикаторный метод. Для определения зависимости равновесной сорбционной влажности материалов при температурах ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  выполнено исследование её для ряда строительных материалов и фильтровальной бумаги.



1– $\varphi=42\%$ , 2– $\varphi=75\%$ ,  
3– $\varphi=80\%$ , 4– $\varphi=97\%$

На рисунке равновесные сорбционные влажности фильтровальной бумаги для температур от  $+25^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  получены расчётным путем (по экспериментальной изотерме сорбции при температуре  $+18^{\circ}\text{C}$ ), для температур  $-16^{\circ}\text{C}$  и  $-20^{\circ}\text{C}$  по данным эксперимента. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с данными, представленными в [1], и могут быть использованы в расчетах.

### Литература

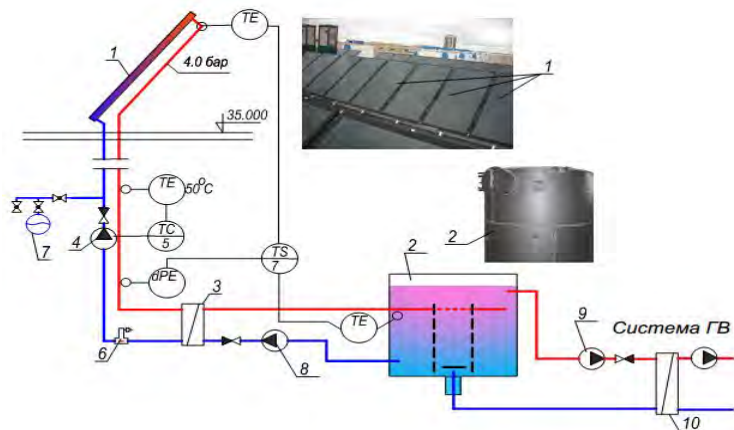
Киселёв, И.Я. Влияние теплопроводности и сорбционных характеристик материалов ограждающих конструкций зданий на повышение их теплозащитных свойств: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.23.01, 05.23.03 / НИИСФ РААСН. – Москва, 2003.

## Особенности проектирования крупных гелиосистем на примере энергоэффективного жилого дома в г. Могилеве

Покотилов В. В., Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

На схеме (рисунок) показана предложенная нами для эксплуатационных условий Беларуси гелиосистема горячего водоснабжения, впервые реализованная в Беларуси при проектировании и возведении в г. Могилёве энергоэффективного демонстрационного 10-ти этажного жилого дома в рамках Проекта Программы развития ООН и Глобального экологического фонда «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь».



Предлагаемая схема крупной гелиосистемы горячего водоснабжения для эксплуатационных условий в Беларуси

1 - два контура гелиоколлекторов общей площади 413 м<sup>2</sup> (по 116 шт в контуре, всего 232 шт); 2 - буферный бак-аккумулятор 14,2 м<sup>3</sup> с функцией расширительного бака с температурным расслоением по его высоте, работающий под атмосферным давлением; 3 - скоростной теплообменник между гелиоконтуром и теплоносителем бака-аккумулятора; 4 - насос с плавным изменением частоты вращения под действием электронного регулятора; 5, 6 - сепаратор воздушный фланцевый; 7 - мембранный расширительный бак и система автоматической подпитки; 8, 9 - циркуляционные насосы контуров теплоносителя бака-аккумулятора; 10 - скоростной теплообменник между контуром теплоносителя бака-аккумулятора и системой горячего водоснабжения.



Покотилов В.В., Сидоренко В.С.

Белорусский национальный технический университет

Утилизация теплоты удаляемого вентиляционного воздуха позволяет снизить теплопотребление в жилищном секторе от внешнего источника практически в два раза.

Существуют системы утилизации (воздух-воздух) трёх типов: квартирные системы, система вентиляции с общей вытяжной вентиляционной шахтой и поквартирными вводами приточного воздуха, система вентиляции с общей приточной и вытяжной вентиляционными шахтами.

В отличие от систем утилизации (воздух-воздух) работающих в двухпозиционном режиме автоматического управления, система с тепловым насосом воздух-вода может работать постоянно с плавным автоматическим регулированием тепловой мощности. При этом следует не исключать возможность режима естественной вентиляции, использование которого возможно в летний период, а также в форс-мажорной ситуации. Для устойчивой работы естественной вентиляции, как в летний, так и зимний периоды, применяется дефлектор с аэродинамическим обтеканием. Особенность его в том, что при увеличении расхода воздуха в зимний период года, сопротивление дефлектора пропорционально растёт. В летний период, наоборот, при небольших скоростях он даёт хорошее разряжение воздуха. При работе теплового насоса удаляемый воздух смешивается с наружным воздухом в необходимых пропорциях, за счёт этого КОП теплового насоса не опускается ниже 3,3-3,5.

Мощность теплового насоса рассчитывается пропорционально сумме требуемой мощности системы отопления и части требуемой мощности системы горячего водоснабжения для подогрева воды до 40°C в буферном баке-аккумуляторе системы горячего водоснабжения. Для подогрева воды в буферном баке-аккумуляторе системы горячего водоснабжения от 40°C до 60°C в буферном баке-аккумуляторе устанавливаются тепловые электрические нагреватели, которые работают от электросети или от солнечных фотоэлектрических панелей, укрепленных на южном фасаде жилого дома.

Результатом работы данной системы является уменьшение расходов энергии на теплоснабжение многоэтажных жилых домов, как существующих, так и проектируемых, уменьшение загрязнения окружающей среды, а также обеспечение требуемого воздухообмена помещений.

**О результатах анализа влияния потоков теплоты от инфракрасных излучателей на микроклимат производственных помещений**

Акельев В.Д., Широкова Е.М.

Белорусский национальный технический университет

В работе рассмотрены системы лучистого отопления инфракрасными излучателями и особенности формирования микроклимата.

Система лучистого отопления инфракрасными излучателями отличается от конвективных последовательностью создания требуемой температуры воздуха в рабочей зоне. Непосредственное воздействие теплового излучения на работающих и повышенная температура поверхностей пола и стен здания создают условия теплового комфорта в рабочей зоне при более низкой, чем при конвективной системе отопления температуре воздуха.

Доля лучистой теплоотдачи в системах лучистого отопления составляет до 90 %, конвективной – 10 %. В традиционном конвективном отоплении доля лучистой теплоотдачи составляет 15 %.

Оценка параметров микроклимата при лучистом отоплении определяется по следующим факторам:

- сочетанию температуры воздуха  $t_{\infty}$  и радиационной температуры помещения;
- плотности теплового потока на уровне головы человека. Согласно Стандарту АВОК, максимально допустимая интенсивность инфракрасного облучения «поверхности туловища, рук и ног» не должна превышать 150 Вт/м<sup>2</sup>.

Установлена возможность снижения температуры воздуха при лучистом отоплении без нарушения условия теплового комфорта. Такой температурный режим в рабочей зоне и более равномерное распределение температуры по высоте помещения позволяет уменьшить (по сравнению с конвективной системой отопления) расход теплоты на обогрев здания.

Выполнены расчеты локальных потоков теплоты от поверхностей инфракрасных излучателей прямоугольной формы, температуры которых были равны 90- 60 °С, а геометрические размеры – 6- 30 м, к поверхностям тел цилиндрической формы с размерами: 1,8 м (высота), 0,6 м (диаметр) и температурой 37 °С.

Расчет систем лучистого отопления инфракрасными нагревателями состоит в решении системы уравнений лучисто-конвективного теплообмена в помещении. Наибольшую сложность составляет вычисление угловых коэффициентов излучения – геометрических характеристик взаимного расположения тел при лучистом теплообмене.

Морозюк А.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью данного исследования являлось совершенствование методики аэродинамических расчетов гибких воздуховодов и их монтажа. Задачами исследования являлись: определение абсолютной эквивалентной шероховатости гибкого воздуховода, установление удельных потерь давления на трение, определение коэффициента перепада давления в гибком воздуховоде, разработка методических рекомендаций по улучшению монтажа гибких воздуховодов, визуализация турбулентного потока и сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных.

Методология эксперимента такова: на стенде (кафедра БНТУ «Теплогазоснабжение и вентиляция», корпус 15, ауд. 615) монтировался образец гибкого неизолированного воздуховода диаметром 200 мм. В эксперименте проводились измерения избыточных полного и статического давлений при степени сжатия воздуховода 0-30% с шагом в 5%, а также скорости потока воздуха. Система сбора данных основана на выборке результатов из значений 60-и секундных измерений.

В результате были получены значения абсолютной шероховатости, которые изменялись в пределах 0,06 до 14,03 мм.

Значения удельного перепада давления находились в пределах от 0,4375 до 9,0625 Па/м.

Полученные значения перепада давления были использованы для получения корректирующих коэффициентов перепада давления. Этот коэффициент может быть использован для нахождения падения давления в полностью растянутом воздуховоде, что дает возможность, затем, оценить перепад давления в сжатом воздуховоде в пределах от 0 до 30%.

Для каждой степени сжатия воздуховода и скорости потока экспериментально определен шаг крепления, а также внесены рекомендации по улучшению качества монтажа гибких воздуховодов.

В работе производилось моделирование потока воздуха в неметаллическом гибком воздуховоде, используя метод вычислительной гидродинамики (ВГД), который показал близкие результаты с экспериментальными данными (расхождение от 2,1 до 14,3%). После получения результатов расчетов они были скорректированы с учетом погрешности

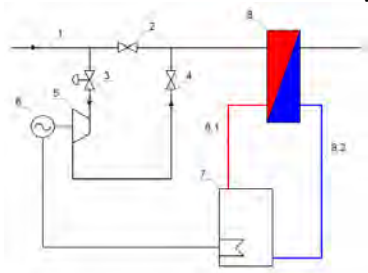
## Применение детандер-генераторной установки на базе Мозырского ПХГ

Протасевич А.М., Павленко А.В.

Белорусский национальный технический университет

Основными критериями при выборе энергетических мощностей для небольших производств можно назвать автономность, быструю окупаемость и бесперебойность работы. В настоящий момент на сборном пункте газа и узле его редуцирования на базе ПХГ осуществляется процесс понижения давления за счет дросселирования потока. Газ, поступающий из технологических скважин после процесса дросселирования, приобретает температуру ниже регламентной в результате адиабатических процессов расширения. При этом теряется большое количество энергии.

Для повышения энергетической эффективности при понижении давления газа и одновременной выработки электричества и тепла предлагается использовать детандер-генераторный агрегат. Установка (рисунок) работает следующим образом. Газ высокого давления поступает в детандер-генераторный агрегат, в котором энергия движущегося потока сначала преобразуется в детандере в механическую энергию, а далее в генераторе, в электрическую, откуда по сети поступает к емкостным электроводонагревателям, которые соединены с технологическим контуром системы теплоснабжения.



- 1- Сборный коллектор газа.
- 2- Дросселирующее устройство.
- 3- Регулятор расхода газа.
- 4- Запорная арматура.
- 5- Детандер-генератор.
- 6- Генератор.
- 7- Промышленный емкостной водонагреватель.
- 8- Теплообменник газ-вода
- 8.1- Трубопровод подающей сетевой воды.
- 8.2-Трубопровод обратной сетевой воды.

Наличие детандер-генераторного агрегата в составе автономного энергосберегающего комплекса представляет возможность использовать процесс понижения давления газа для производства электрической энергии с возможностью ее использования на любые нужды. Детандер генераторы относятся к оборудованию, поддерживаемому Киотским протоколом к Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

Поэтому реализация этих проектов может производиться с использованием механизма привлечения средств за счет продажи квот на эмиссию парниковых газов.

УДК 62-621.2

### **Динамика изменения потерь природного газа**

Копко В.М., Плодунова Т.А.

Белорусский национальный технический университет

По результатам анализа действующих технологических инструкций и документов ГПО «БЕЛТОПГАЗ» можно сформулировать несколько основных положений относительно потерь природного газа в системе газоснабжения и газораспределения Республики Беларусь.

Основной целью учета расхода газа является организация газоснабжающими организациями действенного учета расхода газа всеми категориями потребителей газа.

Существует разница между количеством газа, поступившим в распределительную сеть газоснабжающей организации и отобранном из нее потребителями газа за сутки и отчетный период, так называемый небаланс.

Он определяется как сумма условно-постоянных потерь газа, производственных потерь газа, потерь газа из-за неучета изменений состояния газа (для узлов учета газа без введения коррекции по температуре, давлению и коэффициенту сжимаемости) и потерь газа, связанных с неопределенностью измерений количества газа на узлах учета газа (неучтенный газ).

При наличии небаланса между количеством газа, поступившим в трубопроводную сеть газоснабжающей организации, и количеством газа, использованным из нее потребителями газа, за отчетный период, фактическое количество потребленного газа потребителями газа определяется с учетом потерь газа на участке газораспределительной системы от границы балансовой принадлежности до места установки узла учета газа потребителя газа и на самом узле учета газа, принадлежащего потребителю газа.

Анализ данных по потерям природного газа за период с 2010 по 2015 год диспетчерских служб ГПО «Белтопгаз» показал, что общее количество потерь со временем держится на одном уровне (30 000–40 000 тыс. м<sup>3</sup> в год). Также выявлена четкая зависимость потерь природного газа и температуры наружного воздуха по городу Минску, как за отчетный период год, так и за каждый месяц исследуемого времени наблюдений с 2010 по 2015 года. Чем ниже опускается температура наружного воздуха, тем больше количество потерь природного газа. Поэтому в зимний период (отопительный сезон) потери газа гораздо больше, чем в летний период года.

**Плотина Вайонт – туристический объект в регионе  
Фриули-Венеция-Джулия, Италия**

Гатилло А.С.

Университет Милана – Бикокка, Италия

Туризм является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей экономики во всем мире. Туристическим объектом считаются памятники истории, природы, культуры, архитектурные объекты, а иногда и даже уникальные объекты промышленности, которые способны привлечь туристический поток.

К туристическим объектам с полным правом теперь относят гидротехнические сооружения, в частности плотины. Одним из наиболее ярких примеров является плотина Гувера в США, или плотина Три ущелья в Китае. Есть своя известная плотина и в Италии - плотина Вайонт в регионе Фриули-Венеция-Джулия. Но известность этой плотины с оттенком печали.

Вайонт – арочная плотина, построенная из бетона в узком ущелье рядом с горой Монте Ток на реке Вайонт. Высота плотины достигает 261,6 м, длина по верхнему краю – 190 м, толщина плотины у основания достигает 23 м, толщина по гребню – не более 3,9 м.

Строительство плотины началось в 1957 году, завершилось в 1959, наполнение водохранилища началось в 1960 году. И сразу же выяснилось, что часть горы имеет тенденцию к сползанию в водохранилище.

9 октября 1963 года склон горы Монте Ток длиной 2 км и шириной почти километр сполз в чашу водохранилища. Пласт горных пород объемом около 260 миллионов кубометров за 45 секунд полностью погрузился в воду, наполнив собой водохранилище до отметки 170 метров.

Вода, вытесненная из водохранилища этой массой, поднялась на 250 метров над уровнем плотины и обрушилась в ущелье, создав волну высотой 90 метров. Двигаясь со скоростью до 12 м/с, она снесла все на своем пути, погибли жители пяти лежащих в долине деревень.

Сама плотина устояла, почти не пострадала.

В новом тысячелетии было решено использовать ее как туристический объект, как памятник погибшим, как напоминание о необходимости более ответственного отношения к техническим решениям.

С 2002 года после переоборудования гребня плотины с целью увеличения безопасности ее посещения на плотину стали пускать туристов. И надо сказать, что место одной из самых страшных катастроф на гидротехнических сооружениях пользуется большой популярностью.

## **Использование твердых коммунальных отходов для выработки электроэнергии**

<sup>1</sup>Смирнов А.И., <sup>2</sup>Гатилло С.П., <sup>2</sup>Моргунов С.В.

<sup>1</sup>НПО «Малая энергетика»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Политика энергосбережения, проводимая в Республике Беларусь, предусматривает использование для выработки электроэнергии возобновляемых источников энергии (ВИЭ). При этом электроэнергию можно получать используя различные ВИЭ.

В настоящее время в Республике Беларусь действуют: 51 гидроэлектростанция суммарной установленной электрической мощностью около 34,6 МВт; 50 ветроэнергетических установок суммарной электрической мощностью около 29 МВт; 29 фотоэлектрических станций суммарной электрической мощностью около 12,8 МВт; 17 биогазовых установок суммарной электрической мощностью около 22,7 МВт.

Как видно, получение электроэнергии из таких нетрадиционных источников, как твердые коммунальные отходы (ТКО), еще не получили распространения. Хотя при решении задачи получения электроэнергии здесь попутно решается целый комплекс проблем.

К ним относятся:

- уменьшение объема отходов, подлежащих захоронению на полигоне ТКО благодаря отбору вторичных материальных ресурсов для их переработки и повторного использования;
- получение дополнительной прибыли от установки оборудования по утилизации фракции ТКО;
- создание дополнительных рабочих мест;
- снижение отрицательного воздействия отходов на окружающую среду.

Были рассмотрены следующие варианты для одного из районных центров:

Вариант 1: Строительство установки для получения предРДФ топлива.

Вариант 2: Строительство линии по производству полимерно-песчаных изделий с компостированием биофракции отходов на полигоне ТКО.

Вариант 3: Строительство линии по производству полиэтилена вторичного с компостированием биофракции отходов на полигоне ТКО.

Вариант 4: Компостирование биофракции отходов на полигоне ТКО.

**Анализ способов и инструментов поддержки развития возобновляемых источников энергии в странах ЕС**

Гатилло С.П., Моргунов С.В., Новик Е.С, Кулак П.Л.  
Белорусский национальный технический университет

Анализ данных о применяемых способах и инструментах поддержки развития ВИЭ, а также источниках финансирования в странах ЕС показал:

1. Наиболее активное развитие ВИЭ в странах ЕС произошло в последние десять лет

2. Наиболее распространенная система стимулирования организована через повышенные тарифы. Как правило, при этом применяются и другие дополнительные меры стимулирования.

3. Применяемые системы не являются постоянными и корректируются в зависимости от тех или иных технических или экономических приоритетов и возможностей. Это делается с целью повышения эффективности и экономичности как разных видов ВИЭ, так и разных отраслей энергетики в стране в целом.

4. Широко применяется система квотирования обязательств по приобретению зеленой энергии, что обеспечивает эффективную систему тендеров и зеленых сертификатов.

5. Только в двух странах стимулирование осуществляется с использованием бюджетных средств - в Голландии и Люксембурге. В остальных странах используется внебюджетное финансирование.

6. Практически во всех странах ЕС признано, что применение ВИЭ в целом и ветроэнергетики, в частности, является самостоятельной, полноценной и наиболее приоритетной областью энергетики этих стран, органично агрегируемой в существующими энергосистемы.

По странам это выглядит так:

Компенсации к тарифам: Австрия, Бельгия, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Испания, Люксембург, Португалия, Финляндия, Франция, Швеция.

Тендеры и «зеленые сертификаты»: Австрия, Бельгия, Великобритания, Дания, Ирландия, Италия, Франция, Швеция.

Освобождение от экологических налогов: Австрия, Великобритания, Германия, Литва, Нидерланды, Словакия, Чехия, Эстония.

Освобождение от экологических налогов, инвестируемые в нетрадиционные виды источников энергии (НВИЭ): Венгрия, Нидерланды, Франция, Швеция. Компенсации к тарифам из специального фонда, образуемого из продажи квот на выбросы: Австрия, Венгрия, Великобритания, Италия, Швеция.



**Тетеринское водохранилище на реке Друть**

Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н., Мурашко О.А., Гончарова Е.В.  
Белорусский национальный технический университет

Тетеринское водохранилище расположено выше д. Затетерка в пойме р. Друть на расстоянии 235 км от устья. Его назначение – гидроэнергетика, рекреация и спортивное рыбозаповедение. Водоохранилище осуществляет суточное регулирование стока. Основные характеристики: отметка НПУ – 173,5 м; отметка ФПУ – 174,0 м; отметка УМО – 172,2 м; площадь зеркала при НПУ – 460 га; полный объем при НПУ – 13,8 млн. м<sup>3</sup>; максимальная ширина – 840 м; длина – 9,4 км; средняя глубина – 3,0 м.

Чрезвычайные условия эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС) могут наступать в периоды возникновения в реке паводков и половодий. Причины, вызывающие формирование паводков и весеннего половодья в реке, в основном обусловлены выпадением интенсивных дождей осадков, быстрым таянием снега во время зимних оттепелей и весенним снеготаянием. Водоохранилище преобразует гидрологический режим реки, чтобы трансформировать внутригодовой сток для надежного обеспечения водопотребителей и водопользователей и уменьшить максимальные расходы половодий и паводков, и устранить наводнение на участке реки ниже гидроузла. Так как сток неравномерен в течение года, проводят сезонное или годовое регулирование, которое заключается в перераспределении стока из многоводных сезонов в маловодные внутри года. В многоводные годы, когда сток больше по объему обеспеченного годового стока, избытки воды должны сбрасываться в нижний бьеф водохранилища. Полезный объем водохранилища является определяющим при назначении нормального подпертого уровня (НПУ). Применительно к этой отметке выполняются расчеты габаритов и размещения всех ГТС гидроузла. В чрезвычайных условиях эксплуатации ГТС допускается в течение непродолжительного времени переполнение водохранилища выше отметки НПУ до форсированного подпертого уровня (ФПУ). В обычной практике ФПУ превышает отметку НПУ на 20–70 см. Поэтому если водохранилище уже заполнено до ФПУ, необходимо сбрасывать такие расходы в нижний бьеф через водосбросные сооружения. В тоже время при пропуске половодья и паводков ниже водохранилища ограничивают максимальный уровень воды, чтобы предотвратить наводнение. Прогноз затопления в результате прорыва гидроузла Тетеринского водохранилища показывает, что оно является потенциально опасным и в случае неисправностей ГТС возможен аварийный сброс воды.

**Конструкция гидроузла Тетеринского водохранилища**

Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н., Мурашко О.А., Гончарова Е.В.  
Белорусский национальный технический университет

Первоначально в состав гидроузла входили земляная плотина, паводковый водосброс и здание ГЭС (рисунок). Земляная плотина однородная, тело



плотины отсыпано из разнозернистых песков. Отметка гребня плотины 175,1 м, заложение верхового откоса 1:3,5, низового 1:2, длина плотины 512 м. Дренаж тела плотины трубчатый. Верховой откос закреплен сборно-моноклитными железобетонными плитами толщиной 0,15 м по слою щебня 0,2 м с упорным зубом, низовой откос – одерновкой. Ширина гребня 5,5 м, по гребню проходит служебная автодорога шириной 5,0 м с асфальтобетонным покрытием. Паводковый водосброс представляет собой ячеистую плотину конструкции Сенькова длиной 25 м. Водосливной фронт плотины тремя бычками разделен на четыре водосливных отверстия шириной 5 м каждое и высотой 4 м. Два бычка неразрезные, толщиной по 1 м и один бычок толщиной 1,6 м разрезан вертикальным конструктивным швом на два полубычка. Со зданием ГЭС плотина сопрягается разрезным бычком толщиной 1,6 м. Водосливные отверстия перекрывались деревянными плоскими затворами. Подземный контур паводкового водосброса состоит из понура, шпунтового ряда, подошвы плотины и водобоя. Здание ГЭС состоит из верхнего и нижнего строения. Нижнее строение выполнено в виде двух железобетонных турбинных камер, соединенных двумя подводящими и отводящими каналами шириной 4 м с верхним и нижним бьефами. В подводящих каналах установлены сороудерживающие решетки и имеются пазы рабочих и ремонтных деревянных затворов. Гидросиловое оборудование ГЭС представлено двумя турбинами ПРК-245-ВО-120 с генераторами ВГС У-213-11,24. Установленная мощность ГЭС составляет 370 кВт. Гидроузел относится к IV классу. В 1956 г. на р. Дзержинский сформировалось половодье  $P = 2-3\%$ . Паводковый водосброс, рассчитанный на пропуск  $296 \text{ м}^3/\text{с}$ , не смог пропустить расход  $380 \text{ м}^3/\text{с}$  ни при НПУ, ни при ФПУ. Уровень воды поднялся до отметки 175 м, перелива через земляную плотину не произошло, но полностью разрушено крепление рисбермы, глубина размыва за водобоем достигла 7-11 м. Поэтому в 1997 г. при реконструкции гидроузла построен второй водосброс.

**Способ устройства гравийных фильтров скважин**

Сапожников Е.Г.  
Филиал БНТУ МИПК и ПК

Практика эксплуатации водозаборов показывает, что сроки эффективной эксплуатации водозаборных скважин колеблются от нескольких месяцев до десятков лет и часто зависят от состояния фильтров. Основными причинами снижения дебита водозаборных скважин является кольматаж металлических или полимерных сеток частицами грунта, а также щелей и отверстий штампованных фильтров и химико-биологический кольматаж сеток и отверстий. Разрушение и повреждение фильтров приводит к пескованию скважин, что вызывает быстрый абразивный износ насосного оборудования. Одним из эффективных мероприятий для уменьшения кольматажа фильтров скважин частицами грунта и пескования самих скважин является гравийная обсыпка - гравийный фильтр. Однако при засыпке гравийной смеси в затрубное пространство происходит её расслоение с образованием слоёв различной крупности частиц, в которых происходит кольматаж (слои с мелкими частицами) и проникновение частиц грунта водоносной породы через слои с крупными частицами и пескование скважин. Для предотвращения расслоения гравийных фильтров предлагаются следующие мероприятия:

1. Это фильтры, создаваемые на поверхности земли – корзинчатые и кожуховые, где гравийная смесь удерживается соответствующими проникаемыми приспособлениями, а также блочные, где гравийная обсыпка связана различными склеивающими или цементирующими веществами.

2. Засыпные гравийные фильтры для предупреждения расслоения которых предусматриваются различные как механические, так и гидравлические мероприятия.

С целью снижения затрат на гравийные фильтры и увеличения их долговечности предлагается следующий способ их устройства:

1. Гравийная смесь подаётся в виде блоков, при этом блоки образованы путем склеивания водорастворимыми клеями, например с использованием крахмала, либо замороженными.

2. Гравийная смесь подаётся в виде склеенных или замороженных фрагментов (кубиков, шариков) определённых параметров в зависимости от размеров затрубного пространства.

3. После таяния льда или растворения клея в затрубном пространстве образуется гравийный фильтр без расслоения.

**Компьютерная программа для расчета устойчивости откосов  
земляных плотин**

Богославчик П.М.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство» БНТУ выполнялась работа, посвященная разработке компьютерной программы и оценке с ее помощью устойчивости откосов грунтовых плотин.

В основе компьютерной программы лежит графо-аналитический метод расчета устойчивости откосов грунтовых плотин по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Метод основывается на представлении, что обрушение откоса может произойти по некоторой заранее заданной поверхности, которая принимается в форме дуги окружности (круглоцилиндрическая поверхность скольжения). Задача расчета состоит в определении положения расчетной кривой скольжения, которой является кривая с минимальным коэффициентом запаса устойчивости.

Рассмотрены способы расчета, предусматривающие деление сдвигающегося массива грунта на отсеки, что позволяет учитывать неоднородность грунтов и различные дополнительные силы, действующие на откос. Существует ряд методов расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения с делением массива на отсеки, которые отличаются друг от друга способом определения нормальных напряжений, действующих на поверхности сдвига. Выделены четыре метода, по которым ранее проводился анализ. Это следующие методы: Крея, Терцаги-Флорина, Мейера-Ничипоровича, Р.Р. Чугаева. Предлагаемая DELFI-программа позволяет выбрать для расчета любой из этих методов.

Программа предусматривает также определение положения кривой депрессии. В нее заложено семь схем фильтрационного расчета грунтовых плотин: однородная плотина на водоупоре с трубчатым дренажем, однородная плотина на водоупоре с наклонным дренажем, плотина с экраном и с трубчатым дренажем, плотина с экраном и с наклонным дренажем, плотина на водопроницаемом основании с трубчатым дренажем при  $k_T = k_{oc}$ , плотина на водопроницаемом основании с наклонным дренажем при  $k_T = k_{oc}$ , плотина на водопроницаемом основании с трубчатым дренажем при  $k_T < k_{oc}$ .

Ввод исходных данных осуществляется через два текстовых файла: данные для фильтрационного расчета и для расчета устойчивости.

С использованием данной программы выполнялись расчеты по устойчивости откосов дамб ряда шламохранилищ ПО «Беларускалий». Программа может быть использована при проектировании грунтовых плотин с геологическим строением тела и основания любой сложности.

**Исследование эффективности виброзащитных экранов  
при кинематическом воздействии вибраций на здание**

Повколас К.Э.

Белорусский национальный технический университет

С целью исследования эффективности различных способов виброзащиты зданий и сооружений выполнен комплекс расчетов системы «источник колебаний – среда распространения – приемник колебаний» методом конечных элементов. За основу была принята предварительная оценка возможности установки кузнечного молота вблизи существующего здания при модернизации производства промышленного предприятия. Просчитаны как традиционные варианты виброзащиты, так и ранее не существующие. Основной упор во всех рассмотренных конструктивных решениях основан на изменении среды распространения колебаний (грунтовый массив).

Здание имеет 3 этажа. Несущие конструкции – монолитные колонны 300\*300 мм и монолитные диски перекрытия и покрытия толщиной 200 мм. Фундаменты под колонны – плитные столбчатые с размерами подошвы 1000\*1000 мм. Ограждающие конструкции – кирпичные стены. Вблизи здания на расстоянии 14.4 м планируется установить кузнечный молот марки М4140.

С целью исследования вибродинамических процессов смоделирован грунтовый массив размерами 83,5\*83,5 м высотой 31,5 м. Его размеры были выбраны с целью исключения влияния отраженных от границ массива волн на колебания здания. Конечно-элементная сеть была сгущена в зоне, прилегающей к взаимодействующим фундаментам с целью получения более точных результатов. Общее количество конечных элементов составило 61856, узлов – 56516, решаемых уравнений – 161178. Время интегрирования – 0,55 сек, шаг интегрирования 0,01 сек.

В качестве основного параметра сравнения эффективности того или иного варианта была принята скорость вертикальных колебаний фундамента – фактор определяющий порог начала повреждения строительных конструкций.

Наиболее эффективным мероприятием по снижению вибродинамических воздействий из рассмотренных вариантов при прочих равных условиях является устройство горизонтальной бетонной плиты толщиной 1,5 м между фундаментами под молот и зданием. Величина скорости колебаний снизилась в 4,5 раз. Эффект достигается гашением поверхностной волны массой бетонной плиты.

**Анализ напряженно-деформированного состояния  
внешней защитной оболочки Белорусской АЭС при экстремальных  
внешних воздействиях**

Кондюк И. А., Повколас К.Э.

Белорусский национальный технический университет

С целью изучения устойчивости строительных конструкций реакторного отделения Белорусской АЭС к экстремальным внешним воздействиям был выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния внешней защитной оболочки с учётом нелинейной работы материала конструкции. Кроме того, выполнено моделирование НДС оболочки усиленной углеволокном.

В расчете учитывались следующие виды нагрузок и их сочетания:

- собственный вес (СВ);
- вес технологического оборудования (ВТО);
- вес оборудования СПОТ (включает в себя нагрузку от воды и шестнадцати теплообменников расположенных в каждом из четырёх баков в верхней части купола);
- экстремальные ветровая (ВН) и снеговая нагрузки (СН);
- нагрузка от торнадо (НТ) – принятое расчётное торнадо имеет следующие характеристики: скорость движения оси вихря 26,6 м/с, максимальная окружная скорость ветрового потока 133,3 м/с, радиус на котором эта скорость достигается составляет 60 м, высота вихря 450 м.
- нагрузка от ВУВ – давление во фронте 30 кПа и продолжительностью фазы сжатия 1 с, направление распространения – горизонтальное;
- нагрузки от воздействия МРЗ интенсивностью 7 баллов по шкале MSK-64 (максимальное горизонтальное ускорение основания составляет 0,12 g);
- нагрузки от падения самолета (ПС) – было рассмотрено большинство типов самолетов.

В результате исследования были получены следующие выводы:

- Внешняя ЗО воспринимает заявленные в проекте нагрузки, причём – природные экстремальные внешние воздействия с большим запасом.
- Внешняя ЗО способна без разрушения воспринять попадание легкомоторных самолётов авиации общего назначения, а также грузопассажирского самолёта АН-26 коммерческой авиации массой 24 т. Однако она абсолютно не эффективна перед самолётами военной авиации, а также самолётами коммерческой авиации международных авиалиний.
- При необходимости, можно значительно улучшить прочностные показатели ЗО путём её усиления углеволокном уже в ходе эксплуатации.

**Разработка документации для оценки опасности аварий  
водохранилищ**

Круглов Г.Г., Мурашко О.А.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь создано более 150 водохранилищ на малых реках, а в настоящее время возводятся каскады водохранилищ на Западной Двине и Немане. Гидротехнические сооружения, с помощью которых создаются водохранилища, являются особо ответственными, а их серьезные аварии приводят к тяжелым последствиям с человеческими жертвами и большими материальными ущербами.

Процесс возведения и использования гидротехнических сооружений состоит из четырех этапов: изыскания, проектирование, организация и производство строительных работ в соответствии с разработанным проектом, эксплуатация построенных сооружений. На каждом из перечисленных выше этапов существуют риски, способные нарушить надежность сооружений и вызвать аварийную ситуацию. Как показал опыт обследования ряда белорусских гидроузлов и шламохранилищ ПО «Беларуськалий» причинами аварийных ситуаций могут быть дефекты изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений. Оценка риска аварий производится на основании экспертного анализа степени опасности аварий и степени уязвимости гидротехнических сооружений.

Оценка опасности аварий производится по четырем показателям: опасность превышения, принятых при проектировании сооружений, природных нагрузок и воздействий; обоснованность проектных решений и их соответствие современным нормативным требованиям; соответствие проекту конструкции сооружений, условий их эксплуатации и свойств материалов сооружений и основания; возможные последствия при аварии.

Оценка уязвимости сооружений оценивается по трем показателям: состояние сооружения (по данным инструментальных наблюдений и визуального контроля); организация эксплуатации сооружений; готовность объекта к локализации и ликвидации чрезвычайной ситуации. Для каждого из перечисленных выше показателей опасности и уязвимости сооружений был составлен полный набор факторов риска, характерных для белорусских водохранилищ, и перечень отличительных признаков, определяющих малую, среднюю и большую степень опасности. Составленный перечень факторов риска и их отличительных признаков для всех этапов создания и использования гидротехнических сооружений позволяет объективно оценивать степень риска аварий на водохранилищах Республики Беларусь.

**Основные конструктивные и инженерные решения при ликвидации аварии на АЭС Фукусима-1**

Мелех С.Г., Селезнев В.И.

Белорусский национальный технический университет

11 марта 2011 года к АЭС, находившейся в 180 км от эпицентра землетрясения магнитудой 9 баллов, прибыла волна высотой 15-17 м, которая успешно преодолела дамбу и затопила территорию Фукусимы-1 и ее нижние уровни, где находились дизельные генераторы, не допускавшие перегрева реакторов, которые немедленно вышли из строя. Вслед за генераторами остановились насосы, обеспечивающие циркуляцию теплоносителя, который и охлаждал остановленные энергоблоки. Давление внутри них начало расти. Сначала его сбрасывали в гермоолочку реакторов, а затем, когда оно достигло опасных значений и там, в атмосферу. Вместе с паром в обстройку реакторов проник водород, который впоследствии взорвался и привел к утечке радиации. На станции проведены масштабные работы по возведению защитных сооружений. Возведена защитная оболочка из полиэфирных листов с металлическим каркасом высотой 54 м и основанием 42×47 м<sup>2</sup>, которая полностью накрыла разрушенный энергоблок 1. Такая же защитная оболочка была сооружена на 4 и 3 энергоблоке. Это временная мера, так как компания ТЕРСО планирует заменить их на более прочные сразу после извлечения топливных стержней из реакторов в 2019 году.

Ледяная стена протяженностью 1500 м на Фукусиме-1 является крупнейшим в мире холодильником. В землю закопали с интервалом около метра 1568 серебряных труб почти 30-метровой длины стоимостью 350 млн. долларов США. Они заполнены соляным раствором, охлажденным до -30°С. Трубы расположены с таким расчетом, чтобы цилиндры замороженного грунта, расположенные рядом, пересекались и образовали барьер. Это временная стена должна действовать до 2021 года. Для заделки дыр в стенках реакторов у компании ТЕРСО будет четыре года.

Построена морская подземная водонепроницаемая стена вдоль береговой линии, чтобы удерживать грунтовые воды, вытекающие из помещений вдоль блоков с 1 по 4 в зону порта на АЭС Фукусима-1. Эта вода вступила в контакт с некоторыми радиоактивными материалами, которые находятся в земле после аварии. Стена состоит из 594 стальных свайных шпунтов, погруженных в землю на 30 м. В случае утечки загрязненной воды ожидается значительное снижение риска попадания радиоактивных грунтовых вод в океан. Демонтаж этой морской стены планируется после извлечения ТВЭлов и ХОЯТ из опасной зоны. Правительство Японии планирует, что через 30-40 лет оно ликвидирует все последствия аварии на АЭС Фукусима-1.



**Особенности реконструкции мелиоративных систем  
в Республике Беларусь**

Селезнев В.И., Линкевич Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Реконструкция мелиоративных систем проводилась согласно государственной программы «Сохранение и использование мелиорируемых земель на 2011-2015 г.г.», утвержденной Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 31.08.2010 №1262.

Проекты «Реконструкция мелиоративной системы р. "Оресса" ОАО "Ареса-Агро"», «Реконструкция мелиоративной системы в ООО "Шапчицы-Агро"» Стародорожского района, «Реконструкция мелиоративной системы "Случь" в ОАО "Слуцкая Нива"» Слуцкого района и «Реконструкция мелиоративной системы "Гайна" в СХЦ "Гайна"» РУП МТЗ Логойского района Минской области были выполнены институтом РУП «Белгипроводхоз» в 2015-2016 гг. Эти объекты были простроены в 1975-1985 годах по проектам этого института. Физический износ этих мелиоративных систем составлял более 50% нормативного срока эксплуатации. В составе почвенного покрова вышеуказанных мелиоративных систем преобладали минеральные почвы: дерново-подзолистые глеевые песчаные, древесно-перегнойно-глеевые супесчаные и торфяно-болотные почвы.

Реконструируемые системы были осушены гончарным дренажем в сочетании с открытыми каналами. Параметры поперечных сечений каналов приняты с учетом водно-физических свойств грунтов, фактической ширины по дну с учетом пропуска расчетных расходов, максимального сохранения существующего крепления откосов и других факторов. Устье многих дренажных коллекторов заилены, часть их находилось в подпоре. Фильтрационные расчеты выполнялись по методике А.И. Мурашко для торфяных почв, подстилаемых песками и супесями для условий обеспечения нормы осушения в весенний период. При работе системы в режиме подпочвенного увлажнения необходимо определять расстояние между дренами-увлажнителями. В пониженных местах заросших древесно-кустарниковой растительностью запроектированы дополнительно пластмассовые дрены диаметром 63 мм с расстоянием между дренами 18-26 м. В местах переувлажнения пашни и луговых земель производилась промывка дренажных коллекторов, устройство открытых водосборных воронок и частичный ремонт смотровых колодцев с очисткой их от заиливания. На мелиоративных каналах запроектирован ремонт гидротехнических сооружений: труб-переездов, труб-регуляторов и пешеходных мостиков.

## Ремонтопригодная скважина с раструбными соединениями фильтровой колонны

Магарян М. П.

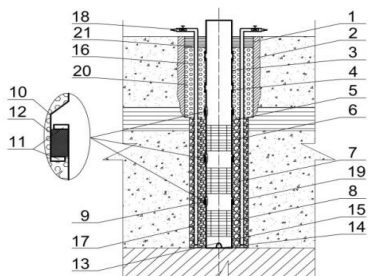
Белорусский национальный технический университет

В процессе эксплуатации скважины в порах гравийной обсыпки и в отверстиях фильтра происходит недопустимое накопление отложений – продуктов химической и биологической коагуляции, которые не удаляются при текущих ремонтах. Поэтому скважина нуждается в проведении капитального ремонта с извлечением и заменой фильтра.

В современных конструкциях водозаборных скважин соединение обсадных труб и фильтровых секций между собой осуществляется с помощью сварки, что позволяет ускорить процесс сборки колонны. Однако при проведении капитального ремонта и попытке извлечения фильтровой колонны на поверхность, первым разрушению будет подвержено именно сварное соединение, т.к. допустимые растягивающие усилия на сварной шов на 10-15% меньше допустимых растягивающих усилий для фильтра скважностью 30%. Использование сварного шва снижает вероятность извлечения фильтровой колонны.

В БНТУ разработана конструкция водозаборной скважины с раструбными соединениями секций фильтровой колонны (рисунок).

Использование подвижных раструбных соединений секций водозаборной скважины обеспечивает возможностью смещения каждой секции на 100-150 мм вверх для разрушения сил сцепления. Возможность посекционного смещения секций фильтровой колонны позволит снизить тяговые усилия для извлечения фильтра и тем самым увеличить вероятность извлечения фильтровой колонны на поверхность.



Конструкция скважины раструбными соединениями фильтровой колонны:

- 1 - кондуктор; 2 - затрубная цементация; 3 - эксплуатационная колонна; 4 - муфтовое соединение; 5 - надфильтровая труба; 6,7,8 - секции фильтровой колонны; 9 - раструбное соединение (10 - раструб, 11 - упорные кольца, 12 - разжимной сальник); 13 - захватная скоба; 14 - днище; 15 - отстойник; 16 - нагнетательные трубки; 17 - перфорация; 18 - вентиль; 19 - гравийная обсыпка; 20 - керамзит; 21 - глиняный замок.

## Лабораторные исследования фильтрационного потока в прифильтровой зоне двуствольной скважины при ее затрубной регенерации

Медведева Ю.А., Кочергин А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В БНТУ предложена конструкция двуствольной скважины с затрубной системой регенерации, состоящей из нескольких циркуляционных трубок, в которые необходимо непрерывно подавать реагент из специальной емкости. При этом в стволах нужно создать депрессию, которая заставит реагент от циркуляционных трубок двигаться в сторону них через гравийный фильтр. Раствор реагента из скважины необходимо откачивать назад в емкость, что обеспечит принудительную циркуляцию реагента.

Лабораторные исследования циркуляционного фильтрационного движения проводились на экспериментальной установке (рисунок).

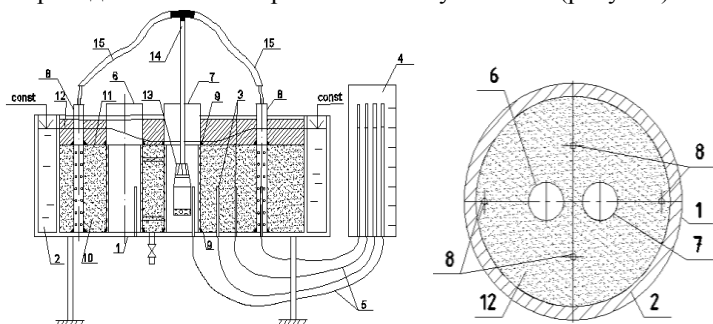


Схема экспериментальной установки

1 – фильтрационный бак; 2 – кольцевой бьеф; 3 – пьезометры; 4 – щит пьезометров; 5 – шланги; 6 – первый ствол водозаборной скважины; 7 – второй ствол водозаборной скважины; 8 – циркуляционные трубки; 9 – уплотнение; 10 – водовмещающий грунт; 11 – полиэтиленовая пленка; 12 – глиняный замок; 13 – насос; 14 – напорный шланг; 15 – сливные шланги

Установка работала следующим образом. Вода насосом забиралась из одного или одновременно из двух стволов скважины с расходом  $Q_c$  и подавалась в нагнетательные трубки с расходом  $Q_n = Q_c$ . Давление в пласте при фильтрации регистрировали с помощью пьезометров.

Установлено, что при одновременной работе фильтров двух стволов водозаборной скважины изменение напора вдоль главной линии тока происходит более равномерно, чем при работе фильтра одного ствола.

**Оценка состояния мелиорированных земель  
на слабоводопроницаемых почвах Белорусского Поозерья**

Митрахович А.И., Макоед В.М., Казьмирук И.Ч.  
РУП «Институт мелиорации»

Осушительное действие мелиоративных систем в процессе эксплуатации уменьшается и не удовлетворяет требованиям сельскохозяйственного производства. Одной из причин является заилием дренажей, что свидетельствует о ненадежности применяемых защитно-фильтрующих материалов (ЗФМ). Предстоящие в 2016-2020 гг. объемы реконструкции мелиоративных систем на площади 189 тыс. га потребуют около 10 млн. м<sup>2</sup> ЗФМ. В РУП «Институт мелиорации» проведены лабораторные и полевые исследования геотекстильных материалов. Для установления их эффективности на слабоводопроницаемых почвах построен объект «Васюки» Шарковщинского р-на Витебской обл. площадью 20 га. Бал кадастровой оценки земель составлял 22,7-29,0. На территории объекта - атмосферное водное питание. Осушение проведено горизонтальным гончарным дренажем из труб d=50 мм. Система состоит из дренажей в трехкратной повторности каждого вида ЗФМ. Расстояние между дренажами – 14 м. Минимальная глубина их заложения 0,9 м. Три дренажа длиной по 100 м объединены общим коллектором, который впадает в железобетонный смотровой колодец d=1 м, соединенный водосбросным коллектором с каналом. Гидравлический расчет коллекторов выполнен при модулях стока 0,6 л/с·га.

Эффективность работы ЗФМ определялась по модулю дренажного стока и мелиоративному состоянию осушенных земель. Метеоданные получены по станции в г.п. Шарковщина. 2011/12 гидрологический год характеризовался как умеренно теплый и избыточно увлажненный. Превышение суммы осадков над среднегодовыми в октябре составило 20 %, а в ноябре - 50. Модули дренажного стока в этот период колебались в пределах от 0,01 до 0,38 л/с·га. Наибольший модуль стока наблюдался из дренажей с ЗФМ Турэг SF20 и ПНМ-ПЭВ-И-125-С (Гронема). По количеству осадков 2013/14 гг. оказался близким к климатической норме. Модуль дренажного стока составил 0,008- 0,07 л/с·га. Мелиоративная обстановка на участке в основном была удовлетворительной. Урожай ячменя в 2012 г. составил 43 ц/га, озимой пшеницы в 2014 г. – 45 ц/га.

Результаты исследований показали, что дренаж с исследованными геотекстильными материалами обеспечивает в гидрогеологических условиях 2012-2014 гг. необходимый водный режим осушенной территории.

## **Обследование технического состояния закрытой дренажной системы поисково-диагностическим оборудованием КСД-160**

Закржевский В.П., Митрахович А.И., Казьмирук И.Ч.  
РУП «Институт мелиорации»

Мелиорированные земли Беларуси могут дать 19 млн. тонн кормовых единиц или 4 млрд. \$ от реализации продукции растениеводства и животноводства. За время эксплуатации многие мелиоративные системы снизили свою эффективность и нуждаются в ремонте и реконструкции. Реконструкция мелиоративных систем в 2016-2020 гг. составляет 189 тыс. га их них более половины приходится на закрытый дренаж. Снизить стоимость реконструкции можно за счет предварительного обследования их технического состояния. При обследовании дренажных линий основное внимание должно быть сосредоточено на оценке внутреннего состояния коллекторов и определения мест неисправности. РУП «Институт мелиорации» разработал комплекс средств диагностики КСД-160 (рис. 1).



Рис.1. КСД-160, общий вид

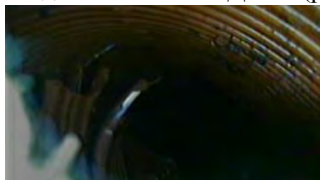


Рис. 2. Разрушение коллектора 22



Рис. 3. Состояние коллектора 26-2-1 после промывки

Он представляет собой проталкиваемую систему телеконтроля, состоящую из цветной видеокамеры, стеклопластикового стержня, барабана, блока управления, и обеспечивает контроль закрытого дренажа диаметром от 75 до 400 мм.

В результате проведенного с использованием КСД – 160 обследования дренажной сети на мелиоративном объекте «Мазоловский» в 2010 г. было установлено состояние внутренней поверхности коллекторов, определены места повреждения некоторых из них. Причиной разрушения коллектора 22 (рис. 2) явилось недостаточная кольцевая жесткость трубы, и она не выдержала прохождения тяжелой колесной техники. Установлено заиление участков дренажных линий, вызванное поступлением наносов из поврежденных колодцев-поглотителей. На рис. 3 приведено состояние коллектора после промывки. Прибор КСД-160 прост в эксплуатации.

Применение системы КСД-160 позволит дифференцированно выбирать места ремонта коллекторов, экономить средства на промывку сети; при реконструкции мелиоративных систем даст возможность максимально использовать существующую сеть.

## **Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства**

Богомолова Г.С., Богдан В.С., Солодкин А.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Данный проект разработан с целью ознакомления с BIM-технологиями, их преимуществами и возможностями для дальнейшего применения в строительной сфере. На графике жизненного цикла объекта рассмотрено применение BIM-технологий на всех этапах, начиная с технического задания, затем эскизам, проекту, анализу, экспертизе рабочей документации, производству, строительству, эксплуатации, ремонту, реконструкции, сносу. То есть суть BIM заключается в том, что информация, внесённая на начальном уровне, будет использоваться в дальнейших уровнях. Далее на графике «стоимости жизненного цикла здания от проектирования к строительству и эксплуатации» было наглядно показано, как с помощью BIM возможно сэкономить значительное количество инвестиций и привлечённых инженеров за счёт снижения коллизий в проекте. Рассмотрены основные проблемы строительной отрасли, решением части из которых является «коллективная работа», что позволяет работать над проектом в единой информационной среде большому кругу специалистов, дающая всем участникам полную информацию о любой из частей проекта. Далее были рассмотрены основные BIM-программы, их свойства и применение в разных сферах строительного производства. Рассмотрена строительная модель, включающая в себя стройплощадку, управление местами на ней и зонирование, создание нескольких вариантов работ. Данные меры позволяют экономить строительные и денежные ресурсы. Также BIM используется для безчертёжного производства элементов строительных конструкций. Далее рассмотрено развитие BIM-технологий в Беларуси на примере производственного корпуса «Беларусьфильм», а также других сооружений в Беларуси. BIM-технологии применяются в разработке информационных моделей АЭС, и этот аспект был рассмотрен на Российском примере (их сущность – успешное применение в новых проектах). На базе программы Revit была создана 3D-модель 2-х этажного жилого дома, с помощью которой были показаны преимущества BIM: автоматическая синхронизация всех процессов, создание и редактирование блоков, визуализация, автоматическое создание разрезов, тепловой расчёт помещений, создание инженерных систем и строительной документации. Это лишь небольшая часть возможностей BIM.

## Перспективы строительства малых ГЭС

Елисеев А.Е., Побыванец М.А., Котович А.С.  
Белорусский национальный технический университет

Одним из наиболее эффективных направлений развития возобновляемых источников энергии в наше время является использование энергии небольших водотоков с помощью микро- (с единичной мощностью энергоагрегата до 100 кВт) и малых (с единичной мощностью до 10 МВт) ГЭС.

Одним из основных достоинств объектов малой энергетики является их экологическая безопасность. В процессе их сооружения и последующей эксплуатации обеспечивается сохранение окружающей природы: отсутствуют вредные воздействия результатов строительства на свойства и качество воды и, тем самым, обеспечивая возможность сохранения рыбохозяйственной значимости водоемов, а также источников водоснабжения населения.

Малая гидроэнергетика эффективно используется в 148 странах. По данным Международного центра малой гидроэнергетики, совокупная мощность этого сектора уже превысила 75 ГВт, что составляет около 43% от ее потенциала (до 173 ГВт). Причем степень развития сектора зависит не только от природных условий, но и от уровня распространения возобновляемой энергетики в частности и развитости страны в целом. Такие развитые регионы, как Северная Америка, Европа и Китай, смогли максимально использовать возможности данного направления возобновляемой энергетики.

Так, в странах Северной Америки потенциал малых ГЭС (МГЭС) реализован более чем на 86% (7,84 ГВт), в Северной Европе – примерно на 95% (3,64 ГВт из 3,84 прогнозных ГВт), Западной Европе – примерно на 85% (5,8 ГВт из прогнозных 6,64 ГВт).

Среди наиболее ярких примеров использования силы рек можно назвать Китай. На гидроэнергетику приходится 17% энергоснабжения Китая.

В Республике Беларусь в настоящее время работает более 40 малых ГЭС общей установленной мощностью более 16 000 кВт. Основной гидроэнергетический потенциал сосредоточен в основном на трех реках: Западной Двине, Немане и Днепре. В ближайшие 10 лет достаточно реально сооружение малых ГЭС на существующих водохранилищах, на притоках основных рек, а также на промышленных водосбросах, в частности на очистных сооружениях. С учетом увеличения малых ГЭС общий гидроэнергетический потенциал можно оценить в размере 220 МВт.

**Закономерности выпадения атмосферных осадков на территории г. Минска за теплый период года и влияние их на формирование расходов поверхностных сточных вод**

Ануфриев В.Н., Минина Е.О.

Белорусский национальный технический университет

Сети дождевой канализации должны обеспечивать благоприятные условия для приема и отведения поверхностных сточных вод во время дождей. Для уточнения параметров расчета сетей дождевой канализации был проведен анализ количества атмосферных осадков, выпадающих на территории г. Минска за теплый период года с 1976 года по 2015 гг. который был разбит на 4 группы по 10 лет: 1976-1985, 1986-1995, 1996-2005, 2006-2015 гг. для оценки влияния изменений, связанных с глобальным потеплением.

Среднемесячные и годовые количества осадков сравнивались со средним количеством осадков за весь период наблюдений (климатической нормой), которые принимались по данным Гидрометцентра Республики Беларусь. Годовой слой осадков в течение указанного периода изменялся от 541 мм до 965 мм, при этом в теплый период (апрель – октябрь), выпадала большая часть атмосферных осадков – 67%.

Количество атмосферных осадков в апреле 1976-1985 гг. было меньше нормы (46 мм) на 4 мм. В период с 1986 по 2005 гг., выпавшие осадки находились в пределах месячной нормы. В мае в период с 2006 по 2015 гг., превышение климатической нормы (61 мм) составляло 150 -200% за исключением 2012 г., тогда выпало только 44 мм осадков. В целом в июне прослеживается тенденция к увеличению выпадения атмосферных осадков. При норме 82 мм в период 1976-1985 количество осадков было меньше на 8 мм, с 1986 по 1995 гг. и 2006 по 2015 гг. количество осадков составило в среднем 86 мм, а с 1996 по 2005 гг. - находилось в пределах нормы. В июле, как и в июне, наблюдалась тенденция к увеличению количества осадков, выпадающих за месяц. В период с 1976 по 1986 гг. количество осадков было на 1 мм ниже нормы (90 мм), в 1986-1995 на 10 мм, в 1996-2006 на 10 мм больше нормы. В августе, сентябре и октябре за последние 40 лет количество осадков составило 94% от нормы.

Таким образом, тенденция к увеличению атмосферных осадков наблюдалась в мае, июне и июле, кроме того, также возросла интенсивность выпадения осадков. Отмечается ежегодное увеличение количества суток с осадками 22 мм и более. Это свидетельствует об увеличении нагрузок на сеть дождевой канализации, что требует пересмотра параметров для ее расчета.



**Эколого-экономическая оценка применения наилучших доступных технических методов при очистке сточных вод**

Ёдчик А.В., Дубенок С.А.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Европейская концепция «наилучших доступных технических методов» (Best Available Techniques, BAT), заключающаяся в применении на промышленных предприятиях технологических процессов, методов и т. д., обеспечивающих уменьшение и (или) предотвращение поступления загрязняющих веществ в окружающую среду и являющихся наиболее эффективными для обеспечения нормативов качества окружающей среды при условии их экономической целесообразности и технической возможности, широко применяется в странах Европы и Российской Федерации. Наилучшие доступные технические методы в области очистки сточных вод базируются на основных технологиях очистки сточных вод (механической, физико-химической, биологической), однако, должны учитывать отраслевую специфику образующихся на предприятии сточных вод (их количественные и качественные характеристики), а также условия и национальные требования к их сбросу в сети коммунальной канализации или в поверхностные водные объекты. Опыт Европейского союза по выявлению, внедрению, оценке эффективности применения наилучших доступных технических методов (НДТМ) в различных отраслях производства, в том числе и при очистке сточных вод, обобщается в соответствующих отраслевых справочных руководствах ЕС по наилучшим доступным техническим методам (BREFs). В настоящее время в Европейском союзе разработано и используется 33 справочных руководства по наилучшим доступным техническим методам.

В Республике Беларусь, наряду с законодательно установленной необходимостью внедрения на промышленных предприятиях наилучших доступных технических методов, отсутствуют критерии отнесения технологии к НДТМ.

С целью соответствия мировым тенденциям в области охраны окружающей среды, сокращения в целом воздействия на окружающую среду, и образования сточных вод, в частности, необходимо формирование научно обоснованных подходов к выбору и применению НДТМ для очистки сточных вод, применение которых позволит промышленным предприятиям Республики Беларусь с учетом оказываемого ими воздействия на окружающую среду, подобрать и внедрить подходящие, экономически обоснованные, наилучшие доступные технические методы очистки сточных вод.

**Прибор для обнаружения мест пескования артскважин**

Ивашечкин В.В., Путраш Д.В., Рекиш А.А., Антонов М.А.  
Белорусский национальный технический университет

В БНТУ разработан и изготовлен прибор для обнаружения мест пескования скважин, который содержит пульт управления и индикатор мутности воды, перемещаемый вдоль фильтра в процессе откачки воды из скважины. Индикатор мутности содержит источник света и фоторезистор, установленные напротив друг друга в проточном для воды корпусе. При замутнении потока воды частицами песка, освещенность фоторезистора падает и уменьшается ток в цепи, фиксируемый миллиамперметром в пульте управления. Это позволяет определить место притока песка в скважину. Для упрощения работ по обследованию пескующих скважин было разработано устройство, оснащенное погружным насосным агрегатом и прибором для обнаружения мест пескования, получен патент (рисунок).

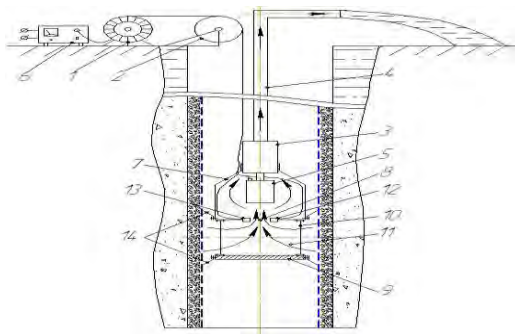


Схема устройства для обследования пескующих скважин, оснащенного погружным насосным агрегатом:

- 1 – барабан с кабелем; 2 – скважинный блок; 3 – насос; 4 – напорный трубопровод; 5 – электродвигатель; 6 – пульт управления; 7 – охлаждающий кожух; 8 – отверстие; 9 – диск; 10 – стержни; 11 – цилиндрическое отверстие; 12 – фоторезистор; 13 – источник света; 14 – уплотнительные манжеты

В настоящее время устройство проходит испытания на скважинах.

## Анализ режимов работы насосных станций

Путраш Д.В., Рекиш А.А., Антонов М.А., Ивашечкин В.В.  
Белорусский национальный технический университет

В данной работе изложена методика построения характеристики совместной работы насосов и трубопроводов с помощью программы «Advanced Grapher».

Построение начинается с построения схемы всасывающих и напорных трубопроводов, а также определения суммарных местных потерь в них. Определив потери, выражают удельное сопротивление внутростанционной линии и при помощи инструмента «Добавить график функции» строят функцию вида:  $h_{вн.ст} = S_{вн.ст} * x^2$ , задаваясь значением  $x$  от 0 до  $Q_n$ . Характеристика напорного водовода строится с учетом запаса напора и геодезической высоты подъема.

С использованием того же инструмента строят характеристики для каждого напорного водовода:  $h_{н.в} = k * S_{вн.ст} * l * (x^2/n) + H_{геод} + \Delta H$ .

При помощи инструмента «Трассировка» определяют точки «А» и «В» с координатами  $(Q_{н.ст}, H_1)$  и  $(Q_n, H_1)$  соответственно. Путем прибавления к ординате точки «В» значения  $h_{вн.ст}$  получают точку «С», соответствующую значению полного напора при максимальной производительности.

Паспортная характеристика насоса имеет эмпирический характер. С помощью инструмента «Добавить график таблицы», по снятым с рабочего поля точкам переносят паспортную характеристику. Если точка «С» не лежит на паспортной характеристике насоса, необходимо провести обточку рабочего колеса. В начале строят параболу подобных режимов, проходящая через точку «С» и пересекающую характеристику насоса в точке «D».

Для этого определяют параметр параболы:  $k = \frac{H_c}{Q_c^2}$ . Определив параметр, при помощи инструмента «Добавить график функции» строят параболу. При помощи функции «Трассировка» снимают координаты точки «D». Зная их, определяют необходимый процент обточки. Смещение обточенной характеристики осуществляется при помощи инструмента «Изменить» в свойствах исходного графика таблицы. Этим же инструментом строятся приведенные кривые совместной работы параллельно работающих насосов. Окончательно, при помощи инструмента «Трассировка», определяют величины напоров и подач при разных режимах работы насосов.

## Влияние молибдатов на коррозионные свойства алюминиевых сплавов

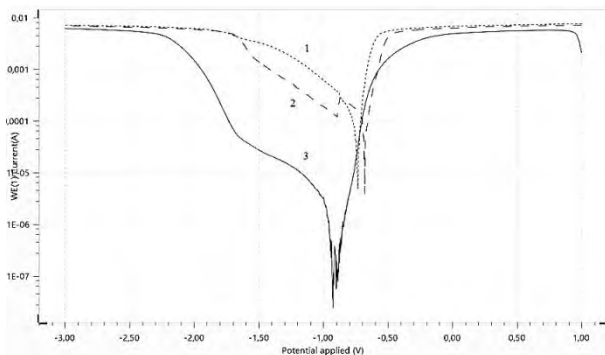
Кешин А.В., Курило И.И., Янушевский В.И.

УО «Белорусский государственный технологический университет»

В настоящее время алюминий и его сплавы являются наиболее востребованными конструкционными материалами, что обуславливает необходимость разработки эффективных методов повышения их коррозионной стойкости.

Целью работы являлась изучение влияния добавок молибдатов на коррозионную устойчивость сплава алюминия АД 31 в растворах хлорида натрия.

Электрохимические исследования в 0.05M растворе NaCl, (рисунок) показали, что присутствие молибдат-ионов в составе анодно-оксидного и конверсионного покрытия на сплаве АД 31 снижает значения коррозионных токов по сравнению с чистым алюминиевым сплавом от 5,8 до 3,619 и 5,57 мА соответственно.



Поляризационные кривые сплав АД 31 в 0.05M растворе NaCl:

- 1 – чистый сплав; 2 – сплав, пассивированный в 1% растворе  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ;
- 3 – сплав, анодированный в сернокислом электролите в присутствии  $0.17\text{M } (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$

При этом весовые показатели коррозии для образцов 1–3 составляют 31,469, 30,231 и 19,655 мм/год соответственно. Полученные данные свидетельствуют о хороших ингибирующих свойствах молибдатов по отношению к коррозионным процессам на сплаве алюминия АД 31.

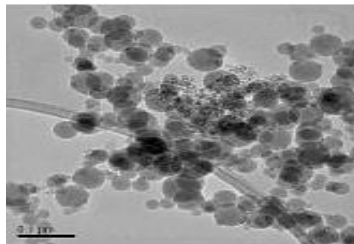
## Получение композиционных защитных покрытий на основе меди

Романовская А.В., Жилинский В.В., Чаевский В.В.

УО «Белорусский государственный технологический университет»

В настоящее время одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в области модификации поверхности конструкционных материалов является нанесение на различные основы композиционных электролитических покрытий (КЭП), показывающих высокие физико-механические и электрохимические свойства. Композиционные покрытия представляют собой металлическую матрицу, в данном случае, из меди, содержащую дисперсную фазу, в частности, твердые и сверхтвердые частицы. Такие покрытия, как правило, обладают повышенными физико-механическими характеристиками и износостойкостью.

Метод электрохимического осаждения проще в реализации, не требует сложного оборудования, не снижает прочности алмазного зерна из-за нагрева, имеется возможность покрывать изделия любой формы, есть возможность получить высокую концентрацию алмазного зерна в рабочем слое инструмента.



Общий вид частиц нанодIAMAZOV

Введение УДА в кислый электролит меднения привело к получению беспористых медных покрытий, в 1,5 раза выросла микротвердость, в два раза возросла эластичность покрытия, износ уменьшился в 9-10 раз, во много раз возросла коррозионностойкость, рассеивающая способность электролита с УДА возросла в три раза.

**Наноструктурированные каталитические материалы из осадков станций обезжелезивания**<sup>1</sup>Клебеко П.А., <sup>2</sup>Куличик Д.М.<sup>1</sup>РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Беларусь в основном используется вода подземных источников, которая имеет несколько повышенную минерализацию, повышенное содержание железа и марганца, высокие бактериологические показатели. Повышенное содержание железа в воде помимо негативного воздействия на организм человека вызывает зарастание водопроводных сетей и водоразборной арматуры, является причиной брака в текстильной, бумажной, пищевой и других отраслях промышленности. В абсолютном большинстве случаев промывные сточные воды не очищаются и сбрасываются в канализационные сети. Объемы образования данных отходов в Республике Беларусь согласно официальным данным составляют 155–683 т/год.

Были выполнены эксперименты по поиску оптимальных параметров выщелачивания. На основании полученных данных оптимальная концентрация азотной кислоты – 23,1%, время выщелачивания – 60 минут, температура процесса – 60 °С. При выполнении работы использовались антрациты и бой высокоглиноземистых керамических материалов. Данные материалы покрывались оксидами преимущественно железа и марганца. Синтез оксидного каталитического покрытия на поверхности кускового антрацита и боя высокоглиноземистых керамических материалов производился методом экзотермического горения в водных растворах с добавкой соответствующих восстановителей.

Испытания полученных материалов (концентрация железа на поверхности достигала 55% мас.) для очистки подземных вод от железа проводились на Лунинецком КУП ВКХ «Водоканал» и «Водоканале» г. Узда.

Полученные результаты испытаний свидетельствуют о том, что:

- при использовании образцов антрацитов, покрытых оксидами железа, остаточная концентрация  $Fe_{\text{общ}}$  в первых порциях фильтрата в 3,4 раза меньше, чем при использовании исходного антрацита;
- зарядка поверхности исходного антрацита происходит через 6 часов после включения фильтра в работу, в то время как модифицированные антрациты обеспечивают высокую эффективность в первых порциях воды.

**Анализ объемов образования и направлений использования отходов гальванических производств в Республике Беларусь**

Моняк Т.М.

Белорусский национальный технический университет

Учитывая большое количество накопленных и образующихся на предприятиях гальванических шламов, вопрос их вторичного использования в Республике Беларусь имеет важное значение. Согласно действующему «Классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь» шламы гальванические относятся к 1–3 классам опасности, при этом для некоторых видов класс опасности не определен. В соответствии с данными классификатора все отходы гальванического производства можно разделить на гальванические шламы и осадки сточных вод: 21 наименование шламов и 7 наименований осадков. В реестре объектов по использованию осадков очистных сооружений гальванических производств зарегистрированы пять объектов. Основные направления вторичного использования гальваношламов на данных предприятиях следующие: получение минеральных добавок, для приготовления асфальтобетонной смеси; получение технического ферригидроксида, обладающего сорбционными, коагуляционными свойствами и флюсующим действием; добавка при изготовлении строительных материалов.

Согласно реестру мест по хранению и захоронению отходов зарегистрированы 6 площадок и 2 хранилища отходов гальванического производства, 4 склада и помещений, 2 места хранения гальванических шламов, а также единично встречающиеся: ёмкость, шламособорник, резервуар и илосборник из всех 21 зарегистрированных объектов.

Анализируя имеющуюся официальную информацию можно заметить тенденцию к росту общего количества образующихся отходов гальванического производства за период 2012–2013 гг., не смотря на то, что в период с 2009 по 2011 года наблюдалось снижение количеств гальваноотходов около 15–35% по сравнению с предыдущим периодом.

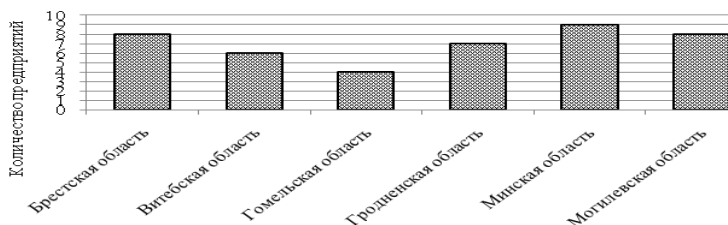
За период 2008 по 2011 года наблюдалась тенденция к снижению объемов использования данных отходов, однако в 2012 году количество используемых отходов увеличилось в 5 раз по сравнению с 2011 годом, а в 2013 году снова наблюдалось снижение на 30% от предыдущего периода. Объемы обезвреживания гальванических отходов снизились с 3,3 тыс. т в 2007 г. до 0,1 тыс. т в 2013 г. В 2008 г. произошел спад объемов обезвреживаемых гальваноотходов в 33 раза. На начало 2015 год на территории Республики Беларусь находилось 5,4 тыс. тонн отходов гальванических производств, в течение года образовалось 10,4 тыс. тонн.

## Выбор метода очистки сточных вод красильно-отделочных производств

Пилипенко М.В.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

В Республике Беларусь насчитывается около 40 предприятий включающих красильно-отделочные производства (см. рисунок). В большинстве технологических операций по производству и применению синтетических красителей образуются загрязненные сточные воды, характерной особенностью которых является их интенсивная окраска. Наряду с красителями, окрашенные сточные воды содержат и другие сопутствующие органические и минеральные загрязнения.



Количество основных красильно-отделочных предприятий по областям

Такое разнообразие содержащихся ингредиентов, которые в большинстве своем являются высоко токсичными и биохимически трудноокисляемыми, обуславливает чрезвычайную сложность очистки данной категории промышленных сточных вод.

Большое многообразие красителей вызвало необходимость разработки эффективной системы очистки, которая не только бы решала проблему очистки сточных вод красильного производства, но и позволила удешевить саму систему очистки.

В результате проделанной работы получены результаты сравнительного анализа эффективности использования различных методов очистки сточных вод от красителей, таких как: использование озона, ультрафиолета, ультрафиолета в присутствии катализаторов, а также исследовано влияние поверхностных свойств катализаторов на эффективность очистки.



**Технико-экономический анализ технологий дезинфекции сооружений водоснабжения с помощью озона**

Романовский В.И., Красковский С.В.

Белорусский государственный технологический университет

В рамках выполнения работ по проекту X15M-074 при поддержке БРФФИ представлены схемы и основные технические характеристики вариантов дезинфекции сооружений водоснабжения: водозаборных скважин, фильтров, резервуаров чистой воды; предложен вариант мобильной установки.

Для оценки и сравнения использования хлор-содержащих веществ и озона в процессах водоподготовки использовали методы анализа стоимости жизненного цикла и оценки воздействия на окружающую среду на этапах жизненного цикла с использованием программного продукта SimaPro 804 включающий метод исследования IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+. Анализ проводили на примере технологий дезинфекции сооружений водоснабжения.

Оценка жизненного цикла позволила определить количественные экологические показатели различных дезинфицирующих веществ, включая стадии их производства, приготовление реагента и непосредственно процесса дезинфекции.

На основании оценки жизненного цикла были предсказаны возможные последствия по таким категориям воздействия, как здоровье человека, состояние экосистем, а также истощение природных ресурсов, всего 15 категорий, а также обосновать выбор наилучшей технологии при сравнении альтернативных вариантов. Так среди рассмотренных вариантов наиболее эффективным из хлорсодержащих реагентов является использование гипохлорита натрия.

Однако если сравнивать хлорсодержащие реагенты с озоном, то технологии дезинфекции с использованием последнего являются по всем критериям наиболее эффективными.

Использование озона приводит к упрощению процесса, повышению эффективности дезинфекции, снижению времени обработки и соответственно времени простоя сооружений, меньшему коррозионному воздействию на металлические части скважины, а также можно отметить его экологическую безопасность. Применение озона для дезинфекции устраняет необходимость обезвреживания раствора после использования, как дехлорирование, поскольку озон распадается на кислород в воде в течение не большого периода времени.

## **Проблемы утилизации высокоминерализованных сточных вод ХВО на примере Минской ТЭЦ-3**

Адиканко И.И., Дубенок С.А.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Эксплуатируемая на Минской ТЭЦ-3 химводоочистка (ХВО) обеспечивает подпитку водой паровые котлы, тепловые сети, систему оборотного охлаждения.

В здании ХВО размещаются две установки:

- установка обессоливания производительностью 560 м<sup>3</sup>/ч;
- установка подпитки тепловых сетей производительностью 930 м<sup>3</sup>/ч.

Исходной водой для водоподготовительных установок Минской ТЭЦ-3 является вода р. Свислочь.

В существующей схеме ХВО заложен принцип малосточной технологии, позволяющий использовать регенерационные воды после установки обессоливания (Н-ОН) для регенерации Na-катионитовых фильтров подпитки теплосети. Пропуск концентрированного раствора осуществляется в течении 180 минут с расходом 85 м<sup>3</sup>/ч. Отмывка по рабочей схеме осуществляется 60 минут с расходом 100 м<sup>3</sup>/ч. При отсутствии регенерационных сточных вод регенерация Na-катионитовых фильтров подпитки теплосети осуществляется раствором соли. Высокоминерализованные сточные воды, образованные в процессе регенерации Na-катионитовых фильтров, отводятся в городскую бытовую канализацию.

В настоящее время практически все регенерации Na-катионитовых фильтров осуществляются регенерационными водами обессоливающей установки. Усредненные показатели качества высокоминерализованных сточных вод образовавшихся в процессе регенерации Na-катионитовых фильтров регенерационным раствором составляют:

- сульфаты – 4000 мг/л;
- хлориды – 450 мг/л;
- солесодержание – 5000 мг/л.

Замена турбинного оборудования первой очереди на ПГУ привело к ужесточению на ТЭЦ-3 требований к показателям обессоленной воды, что уменьшило фильтроцикл до 6000 м<sup>3</sup> в зимнее время и 3000 м<sup>3</sup> в летнее.

С целью снижения воздействия на окружающую среду и не превышения значений ПДК на Минской ТЭЦ-3 требуется рассмотреть варианты модернизации утилизации высокоминерализованных сточных вод ХВО с учетом доступных наилучших технических методов.

**Технологические особенности водопользования на предприятиях  
молочной промышленности**

Захарко П.Н., Дубенок С.А.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного  
использования водных ресурсов»

Молочная промышленность является водоемкой отраслью и занимает одно из первых мест среди других отраслей обрабатывающей промышленности по расходу питьевой воды на единицу выпускаемой продукции.

Производство молочной продукции относят к периодическим технологическим процессам, характеризующимся неравномерностью количественного и качественного состава образующихся сточных вод.

Внедрение в Республике Беларусь в последние 10 лет на предприятиях молочной промышленности технологий переработки сыворотки привело к появлению нового оборудования (установки обратного осмоса, нанофильтрации), которое позволило предприятиям получить сгущенную сыворотку, но при этом привело к образованию побочного продукта – пермеата. Пермеат (фильтрат) – вода с высоким содержанием минеральных веществ. В процессе сушки сыворотки на вакуум-выпарных установках образуется сухая сыворотка и побочный продукт - конденсат (выпар). Образовавшиеся пермеат и конденсат можно использоваться в технологических процессах либо на хозяйственно-бытовые нужды, что приведет к экономии использования питьевой воды на производственные нужды, уменьшению объема сброса сточных вод и, соответственно, рациональному водопользованию. Однако, чаще всего, предприятиями не рассматриваются пермеат и конденсат как возможный источник использования, а сбрасывается в сети канализации, что приводит к увеличению объемов водоотведения по отношению к объемам водопотребления на единицу перерабатываемого сырья.

Согласно действующему законодательству индивидуальные технологические нормативы водопользования для молокоперерабатывающих предприятий разрабатываются только на общий объем перерабатываемого сырья независимо от того, используется сырье для производства собственной продукции либо только проходит стадию подготовки и дальнейшей отгрузки, что приводит к завышению устанавливаемых нормативов водопользования. В связи с чем, в дальнейшем предлагается уточнить методические подходы к нормированию водопользования на молокоперерабатывающих предприятиях с учетом различных режимов производства и видов выпускаемой продукции.

**Обоснование создания системы мониторинга конструкций  
очистных сооружений**

Левкевич В.Е., Лосицкий В.А

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время качество очистки сточных вод – является одним из приоритетных вопросов в области водоснабжения и водоотведения. В Беларуси комплексы очистных сооружений есть не только в крупных городах и областных центрах, но и в более мелких городах, и даже на ряде заводов и предприятий.

Большинство из этих сооружений имеют достаточно сложную конструкцию, состоящую из множества элементов, выполненных из железобетона. Основная их часть имеет в своем наличии различного рода инженерные сооружения, включающие плотины, дамбы, водосбросы, водовыпуски, переливы, шлюзы, водозаборы, сооружения берегозащиты и т. д. Большинство указанных объектов, эксплуатируется в республике значительный отрезок времени, а с учетом того, что срок их эксплуатации в соответствии с классом капитальности сооружений не должен превышать пятидесятилетний рубеж, оценка состояния объектов потенциальной опасности требует наличия объективной информации о техническом состоянии упомянутых сооружений и инженерных систем.

В качестве инструмента, осуществляющего диагностику и контроль состояния конструкций очистных сооружений, предлагается комплексная система мониторинга, а также система мониторинга рискообразующих факторов.

Структура системы мониторинга имеет четыре уровня: центральный, региональный, местный и муниципальный. Все уровни связаны между собой при помощи каналов обмена информацией по стандартным интерфейсам. Работа по обоснованию и созданию системы мониторинга направлена на снижение риска аварийных - чрезвычайных ситуаций является основой на базе которой проводится разработка решений по безопасной эксплуатации очистных сооружений.

Таким образом, создание системы мониторинга состояния конструкций очистных сооружений, является весьма актуальной задачей на для нашей страны и имеет важное значение как для нормального функционирования существующих систем, так и для предотвращения различных чрезвычайных ситуаций.

**Совершенствование ТНПА  
в области водоснабжения и водоотведения**

Ануфриев В.Н., Ефимова О.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время направленность дальнейшего развития стандартизации и нормирования в области охраны водных ресурсов определяется сближением с законодательством и стандартами ЕС, которое рассматривается правительством как приоритетное направление. При этом, вступление Республики Беларусь в Таможенный союз диктует необходимость разработки нормативов и стандартов, которые бы могли использоваться в трех указанных странах. Это означает, что существующая ситуация требует интеграции и активизации международного сотрудничества и в этой сфере. Заметной тенденцией в последнее время стало ужесточение природоохранных требований при проектировании и строительстве систем водоснабжения и водоотведения. Указанные системы оказывают существенное воздействие на водные экосистемы как при заборе воды из водных объектов для водоснабжения, так и при отведении сточных вод. С учетом экономических возможностей страны в проведении водоохраной политики ряд положений принимались на основе сложившейся практики установления нормативов и контроля их выполнения, которые могут быть достигнуты при взаимодействии органов государственного регулирования и водопользователей. При этом был реализован принцип, направленный на удаление большей массы загрязняющих веществ, отводимых со сточными водами с использованием технически и экономически обоснованных методов и технологий.

Изменение природоохранных норм и требований к степени очистки сточных вод потребовало пересмотра порядка проектирования и строительства очистных сооружений. К настоящему времени разработан ряд документов данной серии, которые предполагают:

- сохранение и обобщение опыта проектирования и нормирования, отраженного в ранее принятых и действующих до настоящего времени нормах;
- учет изменений, связанных с ужесточением природоохранного законодательства, развитием научно-технического прогресса в области очистки сточных вод, а также необходимости сближения с европейскими нормами и стандартами, гармонизации с другими действующими нормативно-правовыми актами и техническими нормативно-правовыми актами.

**Повышение устойчивости дамб  
обвалования биологических прудов**

Левкевич В.Е., Качура И.А

.Белорусский национальный технический университет

Одним из возможных способов повышения эффективности очистки сточных вод является использование биологических прудов. Использование биологических прудов, в которых сточные воды подвергаются естественному самоочищению, является наиболее доступным по сравнению с промышленными - физико-химическим или биологическим в искусственных условиях и т. п. Простота эксплуатации, более низкие эксплуатационные издержки, надежность работы в благоприятных климатических условиях и некоторые другие преимущества сделали этот способ снова привлекательным для очистки сточных вод.

Основными факторами, определяющими развитие процессов деформаций и нарушения целостности и устойчивости гидротехнических сооружений на прудах, являются: колебание уровней, динамические и статические нагрузки от воздействия ледового покрова и ветрового волнения, атмосферные осадки, влияние температурного режима. Анализ аварий показал, что основными причинами их вызвавшими являются: переполнение (31%), атмосферные осадки (27%), ошибки при проектировании (23%).

Повышение устойчивости откосов возможно обеспечить посредством проведения различных берегоукрепительных мероприятий: одерновкой, изменением крутизны откоса или же более дорогими способами с применением капитальных берегоукреплений (очистные сооружения и пруды-отстойники г. Столбцы, ООО «Белтаможсервис», Минский район). Наибольшее количество аварий происходит на сооружениях, срок эксплуатации которых превышает 35-40 лет и более. Анализ показывает, что износ основных фондов в том числе и очистных сооружений с каждым годом растет, а средств на поддержание сооружений отпускается крайне мало, в связи с чем, возникает вероятность возникновения риска аварий (г.Ветка, Гомельская область).

Таким образом, повышение устойчивости дамб обвалования биологических прудов, является актуальной задачей, имеет, важное значение для нормального функционирования существующих и проектируемых сооружений, так и для предотвращения различных чрезвычайных ситуаций на них.

**Возможные изменения гидрологического режима р. Вилия  
при введении в эксплуатацию Белорусской АЭС**

Асмаловский Н.А.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного  
использования водных ресурсов»

Гидрологический режим – закономерные изменения состояния водного объекта во времени и пространстве, обусловленные главным образом климатическими особенностями данного бассейна. Естественный гидрологический режим нередко существенно видоизменяется под воздействием хозяйственной деятельности человека.

Основным видом воздействия Белорусской АЭС на поверхностные воды после ввода в эксплуатацию является изменение гидрологического режима водных объектов. За счет постоянного забора воды произойдут изменения характеристик стока, урванного и скоростного режима реки.

Прогноз воздействия отвода воды для нужд АЭС из р. Вилия показывает, что при размещении двух энергоблоков при расходах воды в реке, близких к среднемноголетним, безвозвратное водопотребление будет не более, чем 2,2 % от расхода воды в реке. При условиях маловодного года и расходах воды в реке, близких к минимальным среднемесячным летне-осенней и зимней межени 95% обеспеченности, при двух энергоблоках – не более, чем 4,6 %. При условиях очень маловодного года и расходах воды в реке, близких к минимальным среднесуточным летне-осенней и зимней межени 97 % обеспеченности при двух энергоблоках – не более, чем 6% от расхода воды в реке.

Максимальное понижение уровней на участке реки Вилия ниже размещения водозабора и отвода технических сточных вод может составить при двух энергоблоках и среднемноголетних расходах воды до 3 см (до 1 см в трансграничном створе - ТС), при минимальных расходах – до 7 см (до 5 см в ТС). Максимальное понижение уровней на участке между водозабором и сбросом сточных вод (2,7 км) при среднемноголетних расходах воды составит до 4 см, при минимальных расходах – до 9 см.

Изменение скоростного режима реки Вилия произойдет в виде незначительного уменьшения средних скоростей течения (максимальное – на 0,04 м/с) на участке реки ниже размещения водозабора и незначительное изменение в трансграничном створе. Прогнозируемые изменения полностью могут быть компенсированы регулированием попусков воды из действующего Вилейского водохранилища с целью предотвращения негативного воздействия на гидрологический режим Вилии в пределах Литвы.

**Анализ современных ресурсоемких технологий Беларуси  
на предмет экологичности**

Гриб А.Д., Рыбак В.А.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Эколого-безопасные технологии являются важнейшим инструментом повышения безопасности и качества жизни современного общества, формирование которых возможно только на основе постоянного мониторинга и оценки их экологичности. Так, для анализа данных по эколого-экономическим параметрам выбраны предприятия следующих видов экономической деятельности (по наибольшим объемам производства в период с 2000 г. по 2015 г.):

1. Производство пищевых продуктов, а именно производство цельно-молочной продукции;
2. Производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов;
3. Химическое производство.

На основе данных, предоставленных предприятиями промышленности Республики Беларусь, апробирована методика сравнения и оценки экологичности ресурсоемких проектов и технологий. Так, в работе выполнены расчеты коэффициентов выделенных эколого-экономических параметров  $P_i$  перспективных эколого-безопасных технологий, а также расчеты единого интегрального показателя для каждого предприятия в целом на основе средней геометрической величины. Далее произведена группировка значений единого интегрального показателя по предприятиям  $T_j$  и значений коэффициентов по параметрам  $P_i$  на три группы: с оптимальными значениями, с допустимыми значениями, с критическими значениями, с учетом ранжирования предприятий по видам экономической деятельности. В результате чего, выявлены наименее экологичные предприятия, а также параметры, нуждающиеся в оптимизации.

На основе данных, полученных в результате апробации методики, разработана система мероприятий по оптимизации современных эколого-безопасных технологий. Данная система мероприятий включает принципы оптимизации современных (производственных) технологий, необходимые средства и условия, направленные на оптимизацию перспективных эколого-безопасных технологий, а также методы оптимизации выделенных параметров безотходности, ресурсоемкости, энергоемкости и землеемкости как в общем для наименее экологичных предприятий отрасли, так и отдельно для предприятий, нуждающихся в оптимизации какого-либо из выделенных параметров экологичности.



**Электроосаждение меди в нестационарных условиях  
проведения электролиза**

Касач А.А., Крышилович Е.В., Курило И.И.  
Белорусский государственный технологический университет

В настоящее время гальванический метод нанесения металлических покрытий является самым распространенным и используется в различных областях науки и техники. С целью разработки высокоэффективных технологий электрохимического осаждения меди и ее сплавов, обеспечивающих получение качественных осадков, рассмотрены основные пути интенсификации процесса меднения, такие как влияние состава электролита, перемешивание, применение нестационарных токовых режимов и ультразвукового поля.

Гальванические методы наращивания проводников обладают следующими преимуществами перед другими методами создания проводящих слоев: 1) возможность получения слоев любой толщины; 2) хорошая прочность сцепления; 3) относительно большая скорость осаждения (1-100 мкм/час); 4) возможность автоматизации процесса. Однако им присущи и недостатки, снижающие надежность безотказной работы узлов в целом.

Актуальность этой работы обусловлена необходимостью разработки высокоэффективных экологически безопасных технологий получения гальванических покрытий.

Изучено влияние составов электролитов меднения, ультразвуковой обработки и катодной плотности тока на катодный выход по току и качество получаемых покрытий.

Экспериментально установлено, что в стационарных условиях при температуре 18-25°C мелкокристаллические гладкие полублестящие осадки меди получают из сернокислых электролитов следующего состава, моль/л:  $\text{CuSO}_4$  0,6-0,8;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,6-1,8,  $\text{NaCl}$   $3,4 \cdot 10^{-4}$ - $6,8 \cdot 10^{-4}$ . Кроме того, в состав электролита вводились блескообразующая и пластифицирующая добавки, при плотностях тока 0,5-1,0 А/дм<sup>2</sup>. Наложение ультразвукового поля позволяет существенно интенсифицировать процессы электрохимического получения меди и получать качественные покрытия при плотностях тока 7-10 А/дм<sup>2</sup>. Показано положительное влияние ультразвуковой обработки на распределение меди по поверхности и в отверстиях покрываемых образцов и пластичность полученных осадков.

Полученные практические результаты могут найти применение на предприятиях, занимающихся электрохимическим меднением разнообразных типов поверхностей.

**Модификация анодно-оксидных покрытий сплава алюминия АД 31**

Осипенко М.А., Харитонов Д.С., Крышилович Е.В., Курило И.И.  
Белорусский государственный технологический университет

В настоящее время активно развивается такое перспективное направление защиты сплавов алюминия от коррозии и придания им декоративного вида, как разработка способов модификации оксидного слоя оксоанионами переходных металлов непосредственно в процессе анодирования алюминия.

Целью данной работы явилось анодирование сплава АД 31 в 20%-й серной кислоте в присутствии оксоанионов переходных металлов, позволяющее получать анодно-оксидные покрытия (АОП), содержащие ванадий, молибден и марганец. Введение в марганецсодержащие растворы анодирования гексацианоферрата(III) калия позволяет увеличить содержание марганца в АОП в 40 раз.

Как показывают данные электронной микроскопии, наличие в составе анодно-оксидных покрытий на сплаве алюминия АД31 ванадия, молибдена и марганца приводит к уменьшению количества очагов локальной коррозии на поверхности образца и формированию более компактных окрашенных пленок. Для АОП, содержащих 0,11 мас.% ванадия, 12,77 масс.% молибдена, 0,32 (и 12,92) мас.% марганца, наблюдается смещение бестокового потенциала в область положительных значений на 78, 195, 53 (41) мВ и снижение токов коррозии на 31, 64 и 52 (26) % соответственно по сравнению с образцом, анодированным в 20%-й серной кислоте.

Анализ квазистационарных поляризационных кривых разряда и ионизации анодированных образцов сплава алюминия АД 31 в области бестокового потенциала в 0,05 М NaCl показал, что для АОП, содержащих ванадий, молибден и марганец значения угловых коэффициентов анодной реакции ( $b_a$ ) несколько снижаются по сравнению со значением  $b_a$  для образца, анодированного в 20%-м растворе  $H_2SO_4$ , и составляют соответственно 44,62, 34,43, 54,98 и 48,41 В. Для пленок, не содержащих переходные металлы, тангенс угла наклона анодной поляризационной кривой, наоборот, выше, чем для образца сравнения.

Общее сопротивление поверхности АОП, содержащих 0,11 масс.% ванадия, 12,77 масс.% молибдена, 0,32 (и 12,92) масс.% марганца, при выдержке в 0,05 М растворе NaCl составляет соответственно  $4,5-5,5 \times 10^4$ ,  $4-5 \times 10^5$ ,  $8-9 \times 10^4$  ( $4 \times 10^4$ ) Ом/см<sup>2</sup>. При увеличении продолжительности выдержки образцов в растворе хлорида натрия общее сопротивление поверхности образцов меняется незначительно, что свидетельствует об устойчивости полученных покрытий в коррозионных средах.

Михневич Э.И.

Белорусский национальный технический университет

Гидравлический расчет канала состоит в определении пропускной способности русла и допускаемых на размыв и заиливание скоростей. При расчете пропускной способности проектируемого канала необходимо определить размеры (или один из них при другом заданном) поперечного сечения, способного пропустить максимальный заданный расход.

Такие задачи решают путем подбора, для чего чаще всего используют весьма трудоемкий графо-аналитический способ. Нами разработан более удобный аналитический метод для решения таких задач, при использовании которого параметры канала можно определять непосредственно (без подбора) по формулам. При проектировании каналов чаще всего назначается глубина русла  $h$ , исходя из требований сопряжения открытых водотоков в вертикальной плоскости и топографических условий местности. В этом случае неизвестным размером поперечного сечения является ширина русла по дну  $b$ . Если задана ширина русла по дну  $b$  (обычно из условий производства работ по сооружению канала), то в этом случае искомой является глубина русла  $h$ . Для вывода расчетных формул в качестве эталона принято живое сечение с заданным параметром, но с наибольшей пропускной способностью в данных условиях (гидравлически наивыгоднейшее сечение). Для такого сечения гидравлический радиус  $R_{г.н.}$

определяется по формуле 
$$R_{г.н.} = \left( \frac{K_0 n}{4m_0} \right)^{\frac{1}{2.5+y}},$$

где  $m_0$  – характеристика откоса  $m_0 = 2\sqrt{1+m^2} - m$ ;

$m$  – коэффициент заложения откоса;

$K_0$  – модуль заданного расхода  $K_0 = Q/\sqrt{i}$ ;

$n$  – коэффициент шероховатости;

$y$  – показатель степени в формуле Павловского.

При назначенной глубине русла  $h$  ширину русла по дну  $b_{г.н.}$  определяют по формуле  $b_{г.н.} = \frac{K_0 n}{h \cdot R_{г.н.}^{2.5+y}} - mh$ , а при известной ширине русла по дну  $b$  глубину  $h_{г.н.}$  находят по уравнению. Поскольку в приведенных формулах принят в расчет гидравлический радиус наивыгоднейшего сечения, то производят корректировку значений гидравлического радиуса  $R$ , а ширины русла по дну  $b$  или глубины  $h$  путем умножения полученных по приведенным формулам значений размера сечения на отношение  $R_{г.н.}/R$ , т. е.

$$b = b_{г.н.} \cdot R_{г.н.}/R; \quad h = h_{г.н.} \cdot R_{г.н.}/R.$$

## Определение допусаемых на заилиение скоростей течения воды в каналах

Михневич Э.И., Чудина О.А.

Белорусский национальный технический университет

Проверка незаиляемости канала осуществляется по транспортирующей способности потока или по незаиляющей средней скорости воды в русле. Незаиляющая скорость  $v_{нез}$  соответствует состоянию, когда мутность потока  $S$  равна его транспортирующей способности, т.е. тому количеству взвешенных наносов, содержащихся в единице объема воды, которое поток способен транспортировать без их осаждения. Существующие формулы для определения транспортирующей способности потока и, соответственно, незаиляющей скорости, дают результаты, резко различающиеся между собой. Некоторые из них не имеют физического смысла, т.к. являются функцией только гидравлического радиуса или расхода воды и не учитывают скорость течения воды в русле и концентрацию взвешенных наносов в потоке. Дан анализ транспортирующей способности потока на основе большого экспериментального материала собственных исследований и данных, полученных другими авторами. Показана связь между критерием насыщения потока наносами  $v^3/gRu$ , предложенным М.А.Великановым, и транспортирующей способностью потока. Приняв за основу эту взаимосвязь и экспериментальные данные, получена формула для определения транспортирующей способности потока  $S$ ,  $кг/м^3$  
$$S = \frac{v^3(\rho_s - \rho_w) \cdot 10^{-3}}{\alpha \eta R g u}$$
.

Соответственно, величину незаиляющей скорости  $v_{нез}$ , м/с, при которой не будет происходить осаждение взвешенных наносов, рекомендуется определять по формуле

$$v_{нез} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \eta S R g u}{(\rho_s - \rho_w) \cdot 10^{-3}}}$$

где  $S$  - средневзвешенная мутность потока,  $кг/м^3$ ;

$\eta$  - коэффициент неоднородности взвешенных наносов  $\eta = d_{90}/d_{50}$

$d_{50}$  — средний диаметр частиц наносов, м);

$R$  - гидравлический радиус живого сечения, м;

$u$  - гидравлическая крупность частиц средневзвешенного диаметра, м/с;

$\rho_s, \rho_w$  - плотность соответственно частиц наносов и воды,  $кг/м^3$ ;

$\alpha$  - коэффициент, зависящий от характера осаждения наносов, принимается  $\alpha = 4,0$  при  $d = 0,1-2,5$ мм;  $\alpha = 4,5$  при  $d > 2,5$  мм и  $\alpha = 3,5$  при  $d < 0,1$ мм.

Предложенные формулы могут быть рекомендованы к практическому применению.

## Теоретические исследования процесса растворения кольматирующих отложений в скважине методом реверсивно-реагентной регенерации

Иванова И.Е., Ивашечкин В.В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе работы скважин происходит снижение их удельного дебита в результате процессов кольматажа. В БНТУ предложена установка для реверсивной импульсно-реагентной регенерации водозаборных скважин, состоящая из компрессора, шлангов и погружного устройства, выполненного в виде двухкамерного пневматического насоса вытеснения [1]. Были проведены теоретические исследования процесса растворения кольматирующих отложений в скважине методом реверсивно-реагентной регенерации. Обработка скважины происходит за счет реверсивного движения реагента по участку гравийной обсыпки, до полного удаления кольматанта. Для описания процесса растворения отложений способом реверсивно-реагентной регенерации скважин использована система уравнений (1): объединенного уравнения движения и сохранения массы и обобщенного уравнения кинетики.

$$\begin{cases} -v \frac{\partial C}{\partial x} - \rho_{oc} \frac{\partial b}{\partial t} = n_0 \frac{\partial C}{\partial t}, \\ \frac{\partial b}{\partial t} = -\Phi \cdot (C_m - C) \end{cases} \quad (1)$$

где  $C_m$  – максимальная концентрация солей в реагенте (концентрация насыщенного раствора);  $C$  – концентрация солей в реагенте;  $v$  – скорость движения реагента в гравийной обсыпке;  $n_0$  – начальная пористость грунта,  $b$  – удельная насыщенность грунта кольматантом, плотность которого равна  $\rho_{oc}$ . Путем интегрирования уравнения кинетики получена аналитическая зависимость для расчета продолжительности регенерации слоя гравийной обсыпки:

$$b(T_0, L) = b_0 - \sum_{m=1}^k \left[ n_0 \cdot (1 - e^{-\alpha_m T_0}) + \alpha_m \cdot e^{-\alpha_m T_0} (1 - n_0) \cdot T_0 \right] \cdot J_m, \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что с ростом количества ходов уменьшения удельной загрязненности практически не происходит, т.е. необходима замена рабочего раствора на новый. Так же она позволяет рассчитать время, по истечении которого удельный объем кольматирующих отложений достигнет 0.

### Литература

Ивашечкин, В.В. Регенерация скважин методом реверсивного задавливания реагента пневматическими насосами вытеснения / В.В. Ивашечкин и др. // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Междунар. науч.-технич. конф.: в 4 т. / БНТУ-Минск, 2015. – Т. 1. с. 141.

# **Энергоэффективные технологии**

**Постановка одномерной задачи перераспределения концентрации частиц в магнитной жидкости с учетом фазового перехода в ней**

Баштовой В.Г., Мороз В.С.

Белорусский национальный технический университет

Выполняется постановка одномерной задачи при предположении существования частиц в магнитных жидкостях в виде двух фаз: газообразной и конденсированной с границей фазового перехода между ними. В качестве примера рассматривается объем, расположенный в плоском зазоре с локальной неоднородностью магнитного поля. Пусть объем однородной магнитной жидкости ( $-l \leq x \leq l$ ,  $0 \leq y \leq h$ ) заполняет зазор между двумя плоскопараллельными твердыми границами. Боковые границы объема полагаются плоскими. Магнитная жидкость удерживается в зазоре неоднородным магнитным полем  $H(x)$ . Соответственно, распределение концентрации частиц в жидкости тоже будет функцией только координаты  $x$ . Часть этого объема  $-a < x < a$  может представлять собой конденсированную фазу магнитных частиц, а другая область - газообразную. Положение границы раздела между этими фазами  $x=a$  должно определяться в процессе решения задачи. В качестве характерных масштабов в данной задаче удобно использовать:  $x^*=l$ , в точке  $x=0$ :  $H^*=H(0)$ , координата границы раздела фаз -  $s^*=a/l$ . Нахождение распределения концентрации частиц сводится к решению следующих уравнений:

1) При  $0 < x < s$ :  $\Phi = \Phi_c$ .

$$2) \text{ При } s \leq x \leq l : \Phi_g = D \frac{sh[UH(x)]}{H(x)}. \quad (1)$$

$$3) \text{ При } x=s: \ln \Phi_g + \Phi_g \frac{8 - 9\Phi_g + 3\Phi_g^2}{(1 - \Phi_g)^3} =$$

$$= \frac{A}{\Phi_m} \ln \frac{\Phi_c}{\Phi_m - \Phi_c} + \frac{A}{\Phi_m - \Phi_c} + C - 8 \left( L^2(\xi)\lambda + \frac{1}{3}\lambda^2 \right) \Phi_c,$$

$$\Phi_g \frac{1 + \Phi_g + \Phi_g^2 - \Phi_g^3}{(1 - \Phi_g)^3} = \Phi_c \frac{A}{\Phi_m - \Phi_c} - 4 \left( L^2(\xi)\lambda + \frac{1}{3}\lambda^2 \right) \Phi_c. \quad (2)$$

$$4) \Phi_c s + D \int_s^l \frac{sh(UH)}{H} = \Phi_0. \quad (3)$$

В результате могут быть построены диаграммы фазового равновесия, определяющие границу раздела. Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

**Ориентационное действие магнитного поля на движение пузырей  
в магнитной жидкости**<sup>1</sup>Моцар А.А., <sup>1</sup>Рекс А.Г., <sup>2</sup>Ряполов П.А.<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Представлены результаты экспериментальных исследований ориентационного действия магнитного поля на всплывание пузырей воздуха в магнитной жидкости. Данная задача имеет интерес для магнитоуправляемого теплообмена в газожидкостных потоках на основе магнитной жидкости и, в частности, при кипении магнитных жидкостей, а также для создания методов магнитоуправляемого закалочного охлаждения стальных изделий.

На магнитную жидкость в неоднородном магнитном поле действует объемная магнитная сила, которая стремится втянуть жидкость в область более сильного поля, и в этой области повышается давление. В результате находящийся в магнитной жидкости газовый пузырь выталкивается из этой области повышенного давления и перемещается в область более слабого поля, где давление меньше. Неоднородным магнитным полем можно сформировать заданное распределение объемной магнитной силы в магнитной жидкости и, следовательно, статического давления. Таким образом, создается заданная сила гидростатического давления (выталкивающая сила), действующая на газовые пузыри в жидкости. Особенно большие значения эта сила может иметь непосредственно вблизи поверхностей постоянных магнитов или полюсов электромагнитов. При намагниченности магнитной жидкости порядка 50 кА/м создаваемые этой силой градиенты давления в магнитной жидкости могут в сотни раз превышать градиенты давления за счет силы тяжести. Соответственно в магнитном поле действующая на пузыри выталкивающая сила будет в столько же раз больше, чем в гравитационном.

Выполнено экспериментальное исследование всплывания пузырей воздуха в магнитной жидкости под действием горизонтально неоднородного магнитного поля. В поле данной геометрии всплывающий вертикально пузырь одновременно смещается в горизонтальном направлении.

Получены зависимости горизонтального смещения пузыря от величины градиента магнитного поля для магнитных жидкостей, имеющих различную намагниченность и вязкость. Установлено, что даже в магнитной жидкости с небольшой намагниченностью насыщения реализуется значительное перемещение пузыря в горизонтальном направлении.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь

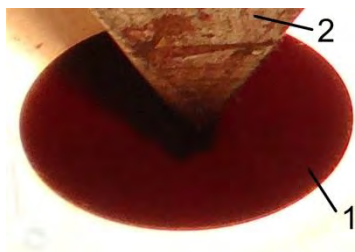
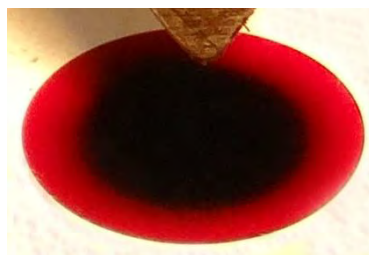


**Переконцентрация частиц в магнитной жидкости под действием сильно неоднородного магнитного поля**

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

Известно, что под действием неоднородного магнитного поля в магнитных жидкостях имеет место переконцентрация магнитных частиц, вызванная процессами магнитофореза и броуновской диффузии. В сильно неоднородном магнитном поле эти процессы могут приводить к расслоению жидкости на магнитную и немагнитную фазы.

В данном исследовании экспериментально рассматриваются процессы переконцентрации частиц магнитной жидкости в сильно неоднородном магнитном поле. В ходе эксперимента магнитная жидкость 1 (рисунок) на основе керосина с намагниченностью насыщения  $21,9$  кА/м и плотностью  $1130$  кг/м<sup>3</sup> размещалась в ячейку, представляющую собой две прозрачные плоскопараллельные пластины. Толщина слоя жидкости составляла  $0,2$  мм. Ячейка помещалась в область сильно неоднородного магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом с двумя плоскими наконечниками 2 (на фотографии изображен один из наконечников), предназначенными для концентрации магнитного поля в небольшой области размерами  $2 \times 3$  мм. Напряженность магнитного поля в зазоре между наконечниками доходила до  $900$  кА/м, градиент магнитного поля достигал значений порядка  $50 \cdot 10^4$  кА/м<sup>2</sup>. С течением времени визуально наблюдалось разделение жидкости на объемы с повышенной по отношению к первоначальному значению концентрацией магнитных частиц (на рис. 1а темная область под наконечником) и пониженной концентрацией частиц (рис. 1б, светлая область в форме кольца).

Рис.1а  $t=0$ Рис.1б  $t=40.5$  часов

Работа выполнена при поддержке фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

**Взаимодействие частиц с высокотемпературным потоком газа**

Кривошеев Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

В общей постановке моделирование течения высокотемпературной струи газа с частицами требует совместного решения уравнений движения и теплообмена. Как правило, задаются профилем распределения скорости, и температуры газовой струи, затем на их основе рассчитывают движение и нагрев частицы. Такой подход предполагает, что отсутствует влияние частиц на параметры струи, а это возможно лишь при малом количестве дисперсной фазы в потоке газа. Если же количество частиц относительно велико, может произойти снижение скорости и температуры потока. Задача трёхмерная, но невозмущённая струя газа (без частиц) обладает осевой симметрией и для её описания достаточно постановки задачи в цилиндрической системе координат. Частицы, движущиеся в потоке плазмы, подвергаются воздействию различных сил, учёт большинства из них практически неосуществим. Это силы гравитации, инерции, вязкого сопротивления, силы Сэфмана, Магнуса, Боссе, термофореза, кулоновские силы. Обтекание сферы установившимся потоком вязкой жидкости с постоянными свойствами достаточно хорошо изучено экспериментально и в некоторых случаях – теоретически. Характер течения определяется числом Рейнольдса. Если сфера не покоится в потоке, а движется со скоростью  $u_p$ , то число Рейнольдса вычисляется по параметрам относительного движения частицы. Аналитическое выражение для коэффициента сопротивления сферы, полученное для вязкого течения при  $Re < 1$  имеет вид  $Cd = 24/Re$ . Для более широкого диапазона чисел Рейнольдса получено большое количество полуэмпирических выражений коэффициента  $Cd$ , которые между собой практически не отличаются в диапазоне  $1 < Re < 100$ , реализуемом в большинстве случаев. Использование зависимостей, полученных для низкотемпературных потоков, требует некоторой их модификации. В первую очередь это связано с эффектом переменных свойств газа, и в меньшей степени – с учётом его разреженности. Обычно температура поверхности частицы значительно ниже температуры натекающего потока. При этом существует тепловой пограничный слой газа, в котором его температура изменяется от температуры поверхности частицы до невозмущённой температуры потока вдалеке от частицы. Такой перепад температур может составлять значительную величину, при этом вязкость, теплопроводность, теплоёмкость газа могут изменяться на порядок и более.

## Исследования получения углеродных сорбентов с использованием зерновой шелухи

Карницкий А. Н.  
Институт энергетики НАН Беларуси

Целью исследования явилось изучение процесса пиролиза зерновой шелухи и определение оптимальных режимов получения высокоэффективных сорбентов. Эксперименты проводились в области температур от 200 до 500 °С. В качестве сырья использовалась зерновая шелуха со следующими параметрами: насыпная плотность 200 кг/м<sup>3</sup>, влажность 11%, зольность 2,5%. Были изучены сухие образцы зерновой шелухи (влажность 11%), а также образцы, предварительно выдержанные в растворе поваренной соли. Зерновая шелуха загружалась в емкости а, б и с. Емкость а накрывалась сверху слоем стеклоткани, емкость б - слоем стеклоткани и керамической плиткой, емкость с – слоем тепловой изоляции и керамической плиткой. Образцы помещались в муфельную печь и выдерживались при соответствующем температурном режиме в течении 5 часов. Во второй серии эксперимента образцы предварительно вымачивались в течение 3 суток в водном растворе NaCl 2,2%, излишки раствора сливались перед началом эксперимента. Установлено, что массовый выход сорбента увеличивается при понижении температуры протекания процесса. При этом температура 200 °С недостаточна для проведения процесса, образцы имеют бурый цвет. Максимальный выход сорбента по данным исследований достигается, как в случае сухих образцов, так и в случае образцов выдержанных в растворе поваренной соли, при температуре 300 °С. В таблице представлены теплотворные способности некоторых образцов, полученные с помощью калориметрической бомбы.

Значения теплотворной способности сорбентов

Образец	№1, 500°С	№3, 300°С	№4, 200°С	№7, 300°С
Q, кДж/кг	26640	24603	19103	22587

Максимальная теплотворная способность наблюдается у образца, полученного при пиролизе при температуре 500°С и составляет 26640 кДж/кг. С понижением температуры процесса теплотворная способность понижается. Вымачивание образца в соляном растворе 2,2% NaCl ведет к увеличению массового выхода сорбента в среднем на 2% при температуре процесса 300°С.

## Способы повышения энергоэффективности теплового насоса

Жук Н.П., Лабкович Н.О.

Белорусский национальный технический университет

Повысить эффективность теплового насоса можно несколькими способами, но самый эффективный – это совместное использование всех этих способов. Одним из способов повышения энергоэффективности холодильной установки является использование теплообменника, предназначенного для обеспечения теплообмена между жидкостной линией и линией всасывания холодильной установки. Целью теплообмена является использование охлаждающей способности пара в линии всасывания, которая при отсутствии теплообменника теряется за счет поглощения теплоты из окружающего воздуха через поверхность неизолированных трубопроводов линии всасывания.

В теплообменнике вышеупомянутая охлаждающая способность пара используется для переохлаждения жидкого хладагента.

Преимущества использования теплообменника:

- обеспечивает высокую холодопроизводительность испарителя;
- обеспечивает поступление жидкого хладагента в терморегулирующий вентиль без паровой фазы;
- способствует максимальному использованию производительности испарителя при настройке терморегулирующего расширительного вентиля на минимальный перегрев хладагента на выходе из испарителя;
- предотвращает запотевание и обмерзание всасывающего трубопровода.

Еще одним из способов является использование электронных ТРВ для повышения COP холодильной установки (чем ниже перегрев, тем выше COP). Холодильный коэффициент растет при повышении переохлаждения. Использование переразмеренного конденсатора не эффективно с точки зрения капитальных вложений. Переохладить жидкость можно с помощью маленького пластинчатого теплообменника и гликоля, который используется в качестве источника тепла для теплового насоса.

Эффективность холодильной машины повышается при повышении температуры кипения и понижении температуры конденсации.

Повысить эффективность теплового насоса можно, используя современные компрессоры с пониженным уровнем трения и меньшим потреблением электроэнергии.

## Моделирование гидравлических потерь при транспортировании жидкостей по трубопроводу

Лосицкая О.С, Погирницкая С.Г.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе выполнены расчеты гидравлических потерь при транспортировании жидкости. Величину потерь необходимо знать для вычисления мощности насоса, необходимой для прокачивания различных жидкостей по трубопроводу.

При решении инженерных задач часто приходится пользоваться табличными данными, такими как свойства различных веществ, характеристики устройств, а также выполнять расчеты по разным формулам в зависимости от значений параметров. Цель работы – автоматизировать процесс вычислений, показать возможности электронных таблиц MS Excel как среды моделирования. Достоинство электронных таблиц – простота и наглядность представления результатов с одной стороны, с другой – наличие мощного аппарата математических, логических и других функций. Электронные таблицы позволяют обеспечить удобный интерфейс для ввода данных.

Исходными данными являются тип (материал) трубы, длина, диаметр и полный расход жидкости. MS Excel можно использовать как простейшую базу данных для хранения справочных материалов. Для того чтобы извлечь коэффициент эквивалентной шероховатости  $K_э$ , а также значения плотности и вязкости выбранной жидкости из отдельных таблиц, используем функцию из категории «Ссылки и массивы» ВПР.

Коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$  вычисляется по разным формулам в зависимости от зоны сопротивления, которая определяется числом Рейнольдса  $Re$ . Здесь используется логическая функция ЕСЛИ, которая позволяет делать разветвления в зависимости от значения числа  $Re$ .

$$\lambda = 64/Re \quad \lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad \lambda = 0,11 \left( \frac{K_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad \lambda = 0,11 \left( \frac{K_э}{d} \right)^{0,25}$$

$2300$      $2300 < Re < 20 \frac{d}{K_э}$      $500 \frac{d}{K_э} < Re$      $Re$

Программа может быть использована в учебном процессе, а также в курсовом и дипломном проектировании для выполнения гидравлических расчетов.

## Низкоуглеродное развитие

Каменская Е.О.

Белорусский национальный технический университет

Получение энергии из большинства используемых сейчас источников вызывает серьезные проблемы в окружающей среде, негативно воздействует на климат и создает риски для природы и жизни людей. Влияние энергетики на биосферу проявляется на всех стадиях производства и потребления энергии: при извлечении, переработке и транспортировке ресурсов, при производстве, передаче и конечном потреблении энергии. Большая часть парниковых выбросов антропогенного происхождения приходится на энергетический сектор. Изменение климата непосредственным образом связано с последствиями сжигания углеводородов и, как следствие, выделением углекислого газа и других парниковых газов. Важнейшие цели низкоуглеродной экономики, с одной стороны, - сократить масштабы негативного влияния за счет сокращения выбросов, а с другой, - резко повысить конкурентоспособность экономики за счет сокращения зависимости от углеродного сырья и его доли в стоимости конечного продукта. Преимущества низкоуглеродного развития:

1. Развитие новых источников и новых технологий получения энергии, современные энергосберегающие технологии;
2. Снижение рисков потери конкурентоспособности для отечественной продукции на мировых рынках;
3. Снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду и глобальную климатическую систему.

Меры по переходу на низкоуглеродную модель экономики позволяют снизить спрос на высокоуглеродную продукцию со стороны потребителей, повысить энергоэффективность, причем одновременно на стороне предложения и на стороне спроса, разрабатывать и внедрять низкоуглеродных технологий, улавливать и производить утилизацию углекислого газа.

Концепция низкоуглеродного развития – это модель, основанная на энергоэффективности и энергосбережении, смягчении антропогенного влияния на окружающую среду и низком уровне выбросов парниковых газов без ущерба для темпов социально-экономического развития страны.

## Парниковый эффект и возможность управления им

Липницкий Л.А.

Белорусский национальный технический университет

Парниковый эффект, существующий на протяжении миллиардов лет на Земле, способствует поддержанию жизни на нашей планете. Однако нарушение баланса парниковых газов в атмосфере может способствовать не только токсическому ее загрязнению, но изменению общего температурного поля Земли. Это в свою очередь может привести к увеличению уровня мирового океана, сокращению снежного покрова и, соответственно, уменьшению альбедо планеты, смещению климатических зон, смене ареалов обитания и гибели ряда живых организмов, созданию благоприятных условий для развития и изменению географии болезней и многим другим последствиям.

Повышение средней температуры воздуха нижних слоёв атмосферы Земли на  $0,8^{\circ}\text{C}$  за последние 100 лет – слишком высокая скорость для естественных процессов истории Земли, и за этот же период концентрация  $\text{CO}_2$  возросла на 20-24 %, а метана на 100%. Последние десятилетия изменения средней температуры воздуха происходят еще большими темпами  $0,3-0,4^{\circ}\text{C}$  за последние 15 лет. Согласно некоторым прогнозам к 2100 году среднемировая температура может вырасти еще на  $1,4-5,8^{\circ}\text{C}$ .

Возможность приостановления процессов связанных с увлечением концентрации парниковых газов зависит от их причин. Если потепление имеет антропогенное происхождение, то решение проблемы вполне возможно. Для этого необходимо уменьшение поступления парниковых газов в атмосферу. Если потепление вызвано природными факторами, то человечество может попытаться предпринять усилия по минимизации последствий глобального потепления и продумать меры, способствующие нашему выживанию.

Для решения данной проблемы необходимо направить усилия ученых стран мира на решение следующих задач:

- выявление всех причин увеличения и возможных решений по сокращению парниковых газов;
- совершенствование и сокращение производств, связанных с выбросом соответствующих газов в атмосферу;
- исследование и разработка возобновляемых видов энергии,
- разработка технологий поглощения углекислого газа;
- совершенствование низкоэнергоемких технологий и оборудования для промышленного и бытового потребления.

**Синтез магнитных жидкостей на перфторполиэфирах**

<sup>1</sup>Сулоева Л.В., <sup>1</sup>Климович С.В., <sup>2</sup>Балабанова О.В., <sup>3</sup>Кужир П.П.

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup> УЗ «10-я городская больница г. Минска»

<sup>3</sup> Университет Ниццы-София Антиполис (Франция)

Магнитная жидкость (МЖ) - коллоидный раствор мелкодисперсных частиц (с размером порядка  $10^{-8}$  м) магнитного материала в жидкостно-носителе, стабилизированных поверхностно-активным веществом. Выбор дисперсионной среды, на основе которой создается магнитная жидкость, определяется ее назначением и местом использования. В зависимости от решаемой задачи могут понадобиться магнитные жидкости на водной или водорастворимой основе, на основе углеводов, нефтяных или синтетических масел (кремнийорганических или фторорганических соединений, перфторполиэфиров (ПЭФ)). Представляет интерес синтез магнитных жидкостей на основе ПЭФ. Жидкости ПЭФ нерастворимы в обычных органических растворителях, но легко растворяются во фторхлороорганических соединениях (хладонах). Класс опасности 4. Низкая летучесть жидкости исключает возможность создания заметных концентраций паров. Термическое разложение жидкости ПЭФ начинается выше  $300^{\circ}\text{C}$ . Реакция водной вытяжки нейтральная. В зависимости от назначения перфторполиэфиры разделяются по температурам кипения при 1 мм рт. ст. Жидкостью ПЭФ возможно заменить жидкость Fomblin Y. Перфторполиэфиры используют в различных областях, особенно в авиа-ракетостроении, вакуумной технике, при контакте с агрессивными средами. В таблице приведены физико-химические свойства МЖ, синтезированные в лаборатории НИЛ «Термомеханика магнитных жидкостей» БНТУ.

№	Основа МЖ	Наименование МЖ	Намагниченность насыщения, кА/м
1	ПЭФ-180	МПФ-70	70
2	Fomblin Y06	МПФ-50	50

Синтезированная МЖ на основе ПЭФ идеально подходят для использования в качестве смазок в экстремальных условиях, например, в высокотемпературных турбинных двигателях, диффузионных насосов, компрессоров и вакуумных насосах и т.д.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.



Янцевич И.В., Климович С.В.

Белорусский национальный технический университет

Постоянно растущие и сложно предсказуемые затраты на электроэнергию являются проблемой для зданий разного типа и размера по всему миру. С ростом технологической зависимости человека повышаются и требования к центрам обработки данных (ЦОД). Одной из главных технических характеристик современных ЦОД является коэффициент энергоэффективности PUE, который равен отношению общего энергопотребления ЦОД к потребностям ИТ-оборудования. Этот показатель отражает, насколько много энергии тратится на работу обслуживающих инженерных комплексов. Для современных ЦОД хороший средний показатель PUE составляет 1,2-1,4. Согласно аналитическим данным, на систему кондиционирования, вентиляции и обогрева (HVAC) приходится до 37% потребляемой ЦОД мощности. В отдельных случаях HVAC потребляет более 50% мощности ЦОД. Эффективным же считается показатель менее 30%. Работу по повышению энергоэффективности ЦОД необходимо проводить по следующим направлениям: повышение энергоэффективности ИТ-оборудования (использование многоядерных процессоров, снижение энергопотребления микросхем, встроенные системы охлаждения и охлаждение на уровне микросхем); повышение эффективности работы программного обеспечения (ПО) (сжатие и дедупликация (устранение дубликатов) данных, отключение «зомби-серверов» и т. д.) Компрессия (сжатие) редко используемых данных может сэкономить до 30% энергии, дедупликация – 40-50%; улучшение управления энергопотреблением на основе SCADA-систем. Эффективное распределение потоков воздуха дает экономию 20-25% потребляемой электроэнергии; переход на естественное и жидкостное охлаждение. Альтернатива специальным системам климат-контроля – естественное охлаждение, которое может быть использовано в холодные времена года. Сегодня технологии дают возможность переключаться на использование экономайзера, когда позволяет погода. Согласно исследованиям естественное охлаждение (фрикулинг) сокращает траты на электроэнергию дата-центров на 13%.

Зависимость от ИТ-технологий в во всех сферах деятельности постоянно растет, поэтому в ближайшие годы снижение энергопотребления дата-центров не перестанет быть актуальным – будут наращивать мощности существующие и появляться новые ЦОД.

**Оптимизация производства в соответствии  
с принципами устойчивого развития на примере  
пивоваренного завода Гролш (Grolsch)**

Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Пивоваренный завод Гролш, расположенный на востоке Нидерландов вблизи города Энсхеде, является показательным примером внедрения принципов устойчивого развития в производство.

В цепи производства используется 99,8% отходов, остающихся в процессе приготовления пива, а почти вся тара является оборотной. Продукт, в основном, разливается в стеклянные бутылки с фарфоровой или пластиковой откидной пробкой «Свингтоп» («Swingtop»). Покупатель при приобретении продукта оплачивает отдельно стоимость пива и стоимость тары и может вернуть стоимость тары, отправив бутылку с прикрепленной к ней пробкой в специальный автомат, после которого тара вернется на завод. Подсчитано, что одна бутылка используется около 40 раз в течение своего жизненного цикла, до того, как будет отправлена на переработку. Компания отказалась от картонных ящиков, перейдя на пластик многоразового использования, который в случае повреждения также может быть переработан и снова превратиться в тару.

Пивные дробины – отходы пивоварения, которые представляют собой хорошо перемешанную массу, в состав которой входят частички ядер и оболочки зерен, – содержат большое количество питательных веществ и полезных микроэлементов и отправляются фермерским хозяйствам для кормления скота. Дрожжи повторно используются в фармацевтической промышленности, а бумажные этикетки с бутылок, вернувшихся на завод, – в строительной отрасли.

Предприятие использует тепло сточных вод для технологических нужд и получает биогаз из канализационных стоков с завода при их очистке, покрывая за счет биогаза 18% потребности завода в энергии.

Пивоваренный завод каждый год готовит отчет о сделанных шагах в сторону устойчивого развития, где отражаются показатели использования сырья и утилизации отходов, потребления тепловой и электрической энергии, затрат на материалы и обслуживание.

Названные выше мероприятия позволяют компании оптимизировать затраты производства, сохраняя при этом качество выпускаемой продукции, заботиться об окружающей среде и сохранять природные ресурсы, а также повышать свою конкурентоспособность на рынке.

# **Информационные системы и технологии**

Абуфанас А.С., Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача аналитического синтеза управляющего сигнала линейной динамической системой. В качестве критерия оптимизации предлагается рассматривать время перехода система из начального состояния в заданное конечное. Такой вид управления называется форсированным, обеспечивающим максимальное быстродействие системы. Рассматривается принцип решения данной задачи на основе применения неопределенных множителей Лагранжа и принципа максимума Понтрягина. Получены выражения для матрицы переходов системы и управляющего сигнала в векторном виде.

В качестве примера для оценки работоспособности предлагаемой методики рассматривается электропривод, описываемый широко распространенной математической моделью второго порядка. Представлены качественные иллюстрации работоспособности предлагаемого подхода, полученные путем моделирования в среде Mathcad и количественные характеристики изменения входных и выходных сигналов гипотетической системы управления. Показано, что применение форсированного управления не приводит к выходу переменных, характеризующих состояние системы, за пределы допустимых значений.

Приведенные теоретические положения и результаты математического моделирования показывают, что при постановке и решении задачи форсированного управления управляющий сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов переменной полярности с переменной длительностью и заданной амплитудой, которая определяется источником постоянного тока. Это может быть использовано при управлении вентиляционными электродвигателями постоянного тока, применяемыми в различных системах слежения такими, как радиолокаторы, следящие телекамеры и т. п.

Особенностью форсированного управления является наличие знакопеременных импульсов, в установившемся режиме после окончания процесса управления, что может на практике приводить к нежелательным результатам, например - к преждевременному разряду аккумулятора постоянного тока. Такого рода нежелательные явления могут быть устранены различными инженерными конструктивными решениями, например отключением управления при достижении требуемого результата управления.

**Алгоритм обработки радиолокационных данных  
о маневрирующих объектах**

Арефьев Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Основным источником измеренных координат движущихся воздушных судов (ВС) в современных автоматизированных системах (АС) управления воздушным движением (УВД) является радиолокационная информация (РЛИ). В настоящее время качественные результаты ее обработки гарантируются лишь в случае захвата и сопровождения изолированных объектов, не совершающих маневров, при полном и однозначном измерении их координат в условиях отсутствия преднамеренных помех. В сложной информационной обстановке – пропуски и неоднозначность измерений, ложные измерения, маневрирующие и групповые объекты, помехи – такое сопровождение характеризуется большим числом ложных траекторий, перепутыванием траекторий, срывом сопровождения и пропуском движущихся объектов.

Неустойчивость процесса объясняется ошибками измерений и представления математического строга для отбора отметки измерения (около прогнозируемого положения объекта в предположении его прямолинейного движения). Классические алгоритмы обработки РЛИ создавались для компьютеров первых поколений с низким быстродействием и малым объемом памяти.

Как следствие, авторы целенаправленно упрощали вычислительные схемы и сокращали описания объектов. Для определения скоростей движения использовались линейные фильтры, имеющие невысокую точность и не позволяющие выполнить комплексную обработку информации от нескольких радиолокаторов. При переходе к технике нового поколения, имеющей практически неограниченные вычислительные ресурсы, алгоритмы обработки попросту заимствовались из программного обеспечения предшественников.

Ситуацию можно улучшить, если более полно использовать новые возможности компьютеров. Можно в любой информационной обстановке получить достаточно точное сопровождение всех наблюдаемых объектов с помощью более сложных фильтров, накопления дополнительной статистики, учета возможностей маневрирования и комплексной обработки нескольких гипотез прокладки траекторий. Традиционная схема обработки РЛИ реализуется тремя последовательными этапами: первичная, вторичная, третичная обработки.

**Теория и алгоритмы решения угломестных задач, определяющих положение летательного аппарата относительно наземной цели**

Арефьев Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

При решении различных задач как пилотируемыми, так и беспилотными летательными аппаратами (ЛА), на борту необходима информация о положении как ЛА, так и других объектов в относительном и абсолютном пространстве. Точность определения координат определяется как уровнем развития измерительной техники, так и полнотой информации от различных источников информации. Информационные сигналы измерительных систем имеют погрешности, обусловленные конструктивными особенностями и условиями функционирования ЛА. Повышение точности измерительной информации предполагает их алгоритмическую компенсацию. Основным источником информации о местоположении ЛА является навигационный комплекс (НК), который представляет собой совокупность систем и датчиков, в основу принципа действия которых положены различные физические закономерности. Наиболее распространенной схемой НК является инерциальная навигационная система (ИНС), принятая за базовую систему, несколько датчиков внешней информации, а также алгоритмы комплексирования и оценивания.

При длительном функционировании ИНС без коррекции углы отклонения гиросtabilизированных платформ нарастают, в результате чего появляется неадекватность математической модели реальному процессу изменения погрешностей ИНС. Тогда применяют коррекцию ИНС с помощью алгоритмов управления.

Коррекция ИНС от внешних источников информации с применением различных алгоритмов позволяет существенно снизить погрешности навигационной информации. В качестве внешних источников информации может применяться, например, система GPS или ГЛОНАСС.

На практике встречаются случаи, когда невозможна коррекция НК ЛА вследствие временного отсутствия сигнала от внешнего источника информации. Сигналы спутниковых навигационных систем подвержены воздействиям активных и пассивных помех. Поэтому могут возникнуть интервалы полета ЛА, когда получать достоверную навигационную информацию не представляется возможным. В этом случае должна проводиться коррекция ЛА с помощью обзорных систем путем привязки к объектам с известными геодезическими координатами и на основе алгоритмических вычислений.

**Векторное управление электроприводом подачи  
очистного комбайна SL 300 NE**

Бибик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Векторное управление – это частотное управление, где в качестве управляющих воздействий используются пространственные векторы электромагнитных величин. Синтез таких систем основан на использовании полных дифференциальных уравнений асинхронного двигателя (АД), полученных на основе теории обобщенной электрической машины. При синтезе системы автоматического управления производится компенсация нелинейностей и внутренних связей, что позволяет применить методы подчиненного регулирования, хорошо зарекомендовавшие себя в электроприводах постоянного тока. При описании системы широко используется метод обобщенных векторов, с помощью которого удается в наиболее удобной форме представить результирующее влияние всех фаз АД на ее состояние.

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

- Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости.
- Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно.
- Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода.
- Высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Ввиду того, что комбайн SL 300 NE движется по цевочной дороге с зацеплением в виде зубчатого колеса, то необходимо обеспечить плавность подачи комбайна на забой.

Система управления двигателем подачи работает в комплексе с системой управления двигателем резания шахтного комбайна, в случае отклонения параметров двигателя резания от номинальных, необходимо быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки, что особенно важно с точки зрения обеспечения безаварийных условий эксплуатации. Кроме того, при более высоком КПД электродвигателя будет обеспечиваться экономия электроэнергии. Поэтому, векторный метод управления электроприводом подачи очистного комбайна SL 300 NE является оптимальным.

## Расчет напряженно-деформированного состояния и выбор оптимальной конструкции паллетных вилок

<sup>1</sup>Бунакова С. В., <sup>2</sup>Соловьев А. Н., <sup>3</sup>Скалиух А. С., <sup>1</sup>Напрасников В. В.

<sup>1</sup>Минск, Белорусский национальный технический университет

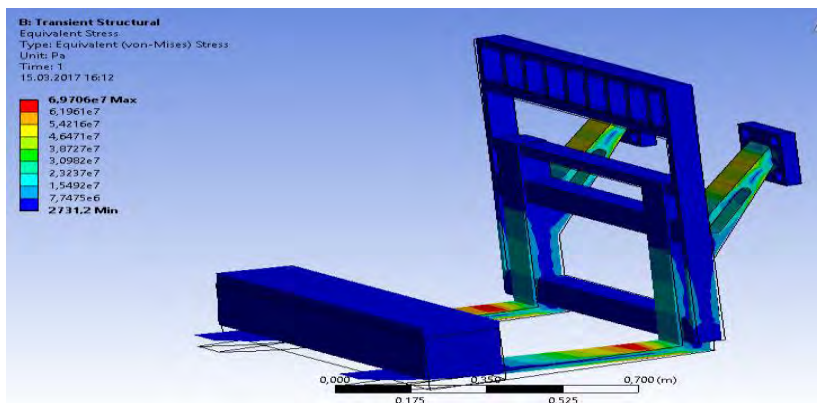
<sup>2</sup>Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет

<sup>3</sup>Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

Вилы погрузчика – один из видов навесного оборудования для погрузчиков, предназначен для работы с разными видами паллет и грузов.

Целью данной работы являлся выбор рациональных параметров паллетных вилок. Для достижения данной цели необходимо было разработать трехмерную конечно-элементную модель для расчета напряженно деформированного состояния паллетных вилок, произвести расчет напряжений и деформаций на основе трехмерной модели для расчетной нагрузки, а также провести оптимизацию.

Результат расчета напряженно-деформированного состояния конструкции при рабочих нагрузках представлен на рисунке



Картина распределения напряжений

Оптимизационные расчеты показали, что оптимальный вариант конструкции достигается тогда, когда толщина вилок равна 31 мм, а количество перегородок равно 8. При этом максимальное эквивалентное напряжение, возникшее в материале паллетных вилок составило  $7,6099\text{E}+07$  Па и не превысило заданного ограничения. В результате расчета и анализа данных экономия материала составила 1%.



**Пространственно-временная обработка сигнала на фоне помех**

Гриднев Ю.В., Пальцев В.А.

ФТИ НАН Беларуси

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Максимальная эффективность пространственно-временного (ПВ) фильтра при оптимальной обработке сигнала фона обеспечивается при выделении двух условий: минимальные значения зоны режекции (подавления) ПВ фильтра по частоте должны совпадать с максимумами спектров сигнала фона и ширина зоны подавления должна соответствовать ширине спектров сигнала фона. При ручной коррекции обеспечить данные условия невозможно, поэтому разрабатываются и исследуются пространственные автокомпенсаторы (ПАК) адаптивных антенных решеток и временные автокомпенсаторы (ВАК) для приемных систем. Для ПВ обработки, кроме последовательно включенных ПАК и ВАК, необходимо дополнительное автоматическое устройство обработки сигнала с ПВ корреляцией.

Для оценки влияния параметров систем самонастройки (СС) на общую эффективность ПВ системы компенсации было проведено компьютерное моделирование при различных значениях полос пропускания и различной амплитуды входной помехи при постоянном уровне шума, которое показало следующие результаты (таблица).

Результаты компьютерного моделирования ПВ системы обработки сигнала

Т-пост.врем., с			Ампл. помехи, ед.	П/Ш вх., дБ	П/Ш вых. без ПВ, дБ	П/Ш вых. с ПВ СС, дБ	Выигрыш за счет ПВ СС, дБ
ПАК	ВАК	ПВ СС					
0,2	0,1	0,1	1	25	7,9	2,7	5,2
0,2	0,1	0,1	3	35	5,8	2,4	3,4
0,2	0,1	0,1	5	40	5,2	2,1	3,1
0,6	0,3	0,3	3	35	6,0	3,4	2,6
0,2	0,1	0,1	3	35	5,8	2,4	3,4
0,07	0,035	0,035	3	35	6,4	1,1	5,3

Таким образом, наличие трех систем самонастройки позволяет обеспечить адаптивную обработку путем подстройки параметров систем под изменяющиеся по времени и пространству характеристики входных сигналов. «Платой» за адаптацию является наличие ошибок систем самонастройки, которые определяются их полосой пропускания.

## Сравнительные показатели накопителей гибридных автомобилей

Киптенко В.В.

Белорусский национальный технический университет

В гибридах и электромобилях, а также ветрогенераторах, тяговых электропоездах и т.д. одним из самых важных вопросов, на сегодняшний день, являются накопители энергии.

В докладе приводится сравнительный анализ накопителей энергии гибридных и электромобилей.

В настоящее время существует целый ряд альтернативных накопителей энергии, более приемлемых для использования в силовой установке автомобиля. К числу таких накопителей относятся:

- водородные топливные элементы;
- электрохимические аккумуляторы;
- суперконденсаторы (ионисторы);
- инерционные накопители энергии;
- пневматические аккумуляторы.

Требования, которым должны соответствовать аккумуляторы для автомобилей с альтернативным приводом, значительно отличаются от требований, предъявляемых к свинцово-кислотным аккумуляторам обычных автомобилей, которые, как правило, используются лишь для запуска ДВС или для обеспечения работы электрооборудования при заглушенном двигателе.

В докладе рассмотрены электрохимические источники энергии (свинцово-кислотные аккумуляторы, литий-ионные аккумуляторы) и суперконденсаторы.

Достоинства суперконденсаторов:

- высокая плотность энергии;
- допустим быстрый заряд большим током;
- допустим заряд током различного уровня при различных токовых режимах (допустим непостоянный ток заряда);
- допустимы сверхвысокие токи разряда;
- защита от глубокого разряда;
- длительный срок эксплуатации;
- число рабочих циклов — несколько миллионов;
- расширенный диапазон рабочих температур ( $-40^{\circ}\text{C}$ ...  $+85^{\circ}\text{C}$ ).

Проведя детальный анализ источников питания, был сделан вывод, что наиболее приемлемым и перспективным элементом питания для гибридных и электромобилей является суперконденсатор (ионистор).

## Центроиды и самосовмещение $n$ -арных групп

Кириллук Д. И.

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

Впервые приложения теории  $n$ -арных групп в аффинной геометрии были найдены Д. Вакареловым в [1]. Русаков С.А. в [2] обобщил многие результаты Д. Вакарелова и придал новый импульс развития этого направления. В частности, С.А. Русаков в работе [2] построил аффинное пространство  $W(G)$  методом фундаментальных последовательностей векторов полуабелевой  $n$ -арной  $rs$ -группы  $G$ . Дальнейшее развитие приложений теории  $n$ -арных групп в аффинной геометрии получило в работах Ю.И. Кулаженко (см., например, [3]). В этой же работе [3] нашло отражение новое направление исследований – самосовмещение элементов  $n$ -арных групп.

В представляемой работе продолжено указанное направление исследований, а именно получены новые результаты по определению аналитическими методами центроида произвольного  $2k$ -угольника. Установлено, что при разбиении произвольного  $2k$ -угольника произвольными треугольниками, их центроиды образуют последовательность точек, относительно которой произвольный элемент  $n$ -арной группы самосовмещается.

**Теорема 1.** Пусть  $G$  – полуабелева  $n$ -арная группа,  $a_1, a_2, \dots, a_{2k}, b$  – произвольные точки из  $G$  ( $k \in \mathbb{N}$ ),  $x_1$  – центроид  $\langle a_1, a_2, \dots, a_{2k-1}, b \rangle$ . Если  $x$  – центроид  $\langle a_1, a_2, \dots, a_{2k} \rangle$ , то справедливо равенство  $\overline{xx_1} = \frac{1}{2k} \overline{a_{2k}b}$ .

**Теорема 2.** Пусть  $G$  – полуабелева  $n$ -арная группа,  $a_1, a_2, \dots, a_{2k}, d$  – произвольные точки из  $G$  ( $k \in \mathbb{N}$ ). Если  $x_1$  – центроид  $\langle a_1, a_2, d \rangle$ ,  $x_2$  – центроид  $\langle a_2, a_3, d \rangle$ , ...,  $x_i$  – центроид  $\langle a_i, a_{i+1}, d \rangle$ , ...,  $x_{2k}$  – центроид  $\langle a_{2k}, a_1, d \rangle$ , то произвольная точка из  $G$  самосовмещается относительно элементов последовательности вершин  $2k$ -угольника  $\langle x_1, x_2, \dots, x_{2k} \rangle$ .

### Литература

1. Вакарелов, Д. Тернарни групи / Д. Вакарелов // Годишник Софийского ун-та. Матфак. – 1966–1968. – Т. 61. – С. 71–105.
2. Русаков, С.А. Некоторые приложения теории  $n$ -арных групп / С.А. Русаков. – Минск: Беларуская навука, 1998. – 167 с.
3. Кулаженко, Ю.И. Полиадические операции и их приложения / Ю.И. Кулаженко. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2014. – 311 с.

## Оценка адекватности разработанной системы поддержки принятия решений

Кондратёнок Е.В., Кондратёнок В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Статистический синтез системы поддержки принятия решений (СППР), проведенный с учетом оценки интенсивности взаимодействия обучающихся и среды обучения, представлен авторами в [1]. В докладе рассмотрены результаты проверки адекватности разработанной математической модели [1] в ходе натурального эксперимента.

В качестве допущений использовались следующие: интенсивность взаимодействия каждого обучающегося со средой обучения являлась дискретной величиной, пространство состояний оценок обучающегося являлось конечным и дискретным, процесс прохождения лабораторного практикума имел вероятностный характер и моделировался цепью Маркова. В ходе эксперимента также считалось, что переходные вероятности интенсивности взаимодействия одинаковы, переходная плотность вероятности оценок распределена в соответствии с усеченным слева и справа распределением Гаусса, а априорная плотность вероятности для первого шага  $P^{(i)}(W_0)$  аппроксимировалась гауссовской плотностью вероятности с учетом математического ожидания  $m_0$  и СКО  $\sigma_0$ , вычисленных по результатам обработки оценок обучающегося, полученных им за изучение «обеспечивающих» дисциплин.

Применение методики, описанной в [1], позволило сопоставить рассчитанную для каждого обучающегося априорную вероятность получения неудовлетворительной оценки на экзамене с апостериорной оценкой. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности синтезированной в [1] СППР и возможности ее реализации на практике. Достоверность оценки интенсивности взаимодействия каждого обучающегося со средой обучения при этом составила порядка 0,8 с относительной погрешностью не более 0,05, что позволило оценить степень адекватности синтезированной СППР как близкую к высокой.

В ближайшее время авторы для увеличения степени адекватности синтезированной СППР планируют провести еще ряд натуральных экспериментов, увеличив тем самым объем оцениваемой выборки.

### Литература

Кондратёнок Е.В., Кондратёнок В.А. Статистический синтез системы поддержки принятия решений, проведенный с учетом оценки интенсивности взаимодействия обучающихся и среды обучения // Системный анализ и прикладная информатика. – №3. – 2016. – С. 59-67.

**Исследование динамических характеристик квазирезонансных источников вторичного электропитания**

Коновалов С.И., Шиш А.Л., Войтенко К.Ю.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью  
«ОКБ ТСП»

Одним из актуальных направлений современной преобразовательной техники является разработка эффективных источников вторичного электропитания (ИВЭП) с улучшенными массогабаритными показателями и с низким уровнем электромагнитных помех (ЭМП). Широко применяемые преобразователи напряжения (ПН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) требуют применения громоздких входных и выходных помехоподавляющих фильтров для решения задач ЭМС. Наиболее эффективным путем является применение резонансных или квазирезонансных режимов работы ключевых элементов.

По сравнению с классическими ПН на базе ШИМ резонансные (квазирезонансные) ПН являются более сложным объектом управления, что обусловлено нелинейной зависимостью передаточной характеристики силовой части от тока нагрузки и напряжения питания.

Получение аналитических выражений контура управления таких ПН является важной задачей, позволяющей в дальнейшем проводить моделирование, осуществлять синтез регуляторов и стабилизаторов, удовлетворяющих заданным критериям качества управления.

Анализ существующих работ в данной области показывает, что в полученных математических выражениях и структурах квазирезонансных ПН в виде САУ отсутствуют оценки точностных, динамических характеристик и анализ устойчивости системы.

В докладе рассматривается разработанная новая методика оценки динамических характеристик квазирезонансных источников вторичного электропитания.

### **Литература**

1. Горяшин Н.Н. Математическая модель стабилизатора напряжения на базе квазирезонансного преобразователя / Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. М.Ф. Решетнева: сб. научн. тр. / под ред. проф. Г.П. Белякова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Вып.6. Красноярск, 2005. С. 99–102.
2. Стрижнев А.Г., Шихов А.А., Русакович А.Н. Метод исследования нелинейных объектов управления, работающих в заданном диапазоне выходных координат / А.Г. Стрижнев, А.А. Шихов, А.Н. Русакович // Информатика. – 2015. – №3. С. 94–102.

## **Исследование АЧХ резонансных импульсных ИВЭП в широком диапазоне изменения нагрузки**

Коновалов С.И., Шиш А.Л., Войтенко К.Ю.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью  
«ОКБ ТСП»

Для снижения массогабаритных показателей и повышения КПД источников вторичного электропитания (ИВЭП) применяют структуры, построенные на базе высокочастотных ключевых преобразователей. Резонансные импульсные ИВЭП с частотно-импульсным управлением (ЧИМ) являются наиболее эффективными за счет снижения потерь в силовых ключах и низкого уровня коммутационных помех. Для реализации эффективного управления ИВЭП с ЧИМ при широком диапазоне изменения нагрузки необходимо учитывать особенности АЧХ резонансного контура и вид регулировочной характеристики ЧИМ-контроллера, которые входят в состав объекта управления системы стабилизации выходного напряжения.

Для создания модели резонансного контура, подключенного к силовому трансформатору ИВЭП, были рассчитаны и измерены параметры схемы замещения трансформатора с учетом наличия паразитных емкостей обмоток. В ходе исследования были получены регулировочная характеристика и АЧХ резонансного контура импульсного ИВЭП для различных значений нагрузок.

Установлено, что АЧХ цепи резонансного контура существенно зависит от сопротивления нагрузки. Второй резонанс на правом скате АЧХ реального ИВЭП обусловлен наличием паразитных параметров реактивностей трансформатора и емкостей монтажа. Крутизна рабочего участка на скате АЧХ существенно зависит от тока нагрузки. Это требует введения в корректирующие звенья САУ соответствующих переменных коэффициентов с целью достижения устойчивости и желаемых статических и динамических ошибок стабилизации. Перспективным является применение программируемых цифровых регуляторов, работающих в реальном масштабе времени.

### **Литература**

1. Хныков А.В. Структурное построение высоковольтных импульсных источников вторичного электропитания // Практическая силовая электроника, 2012 г.-№2.
2. Петров С.А. Структурное построение высоковольтных импульсных источников вторичного электропитания // Схемотехника, 2006 г., № 7.

**Алгоритм фазовой коррекции кадров Фурье-видеоспектрометра**

Костусев А.В., Горбуков А.Д., Галкин А.И., Никуленко П.М., Цветков В.Ю.  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Погрешности изготовления и юстировки оптической системы Фурье-видеоспектрометра и непостоянство скорости съемки (из-за нестабильности траектории летательного аппарата-носителя бортовой аппаратуры Фурье-спектрометра и нестабильности системы синхронизации) являются основными факторами, влияющими на качество формирования гиперспектральных изображений земной поверхности. Для решения задачи определения нестабильности скорости съемки земной поверхности и ее компенсации предлагается алгоритм фазовой коррекции кадров спектрометра, состоящий из следующих основных блоков:

- выделения области отсутствия интерференции в  $i$ -й плоскости гиперкуба с наибольшим числом перепадов яркости;
- хранения выделенной области;
- сдвига изображения на одну строку;
- симуляции сдвига изображения на 0,25 пикселя;
- вычисления среднеквадратической ошибки (MSE) для области отсутствия интерференции в  $i$ -й плоскости гиперкуба и областей отсутствия интерференции  $(i-1)$ -й плоскости гиперкуба, сдвинутых по вертикали, горизонтали и диагонали;
- поиска наименьших значений MSE;
- принятия решения о сдвиге плоскости на +/- 0,25 пикселя;
- выделения  $i$ -й плоскости гиперкуба;
- сдвига плоскости на 0,25 пикселя.

Разработана программная модель для оценки эффективности предложенного алгоритма. В ней используется изображение высокого разрешения (1920x960 пикселей) для формирования двух изображений низкого разрешения (120x60 пикселей), сдвинутых друг относительно друга на величину от 0 до 1 пикселя в одном из восьми направлений с точностью 1/16 пикселя. В состав модели входят блоки масштабирования изображения в 16 раз с аппроксимацией; масштабирования изображения в 16 раз со сдвигом и аппроксимацией; масштабирования изображения в 4 раза с интерполяцией; сдвига изображения на пиксель по восьми направлениям в окрестности Мура; масштабирования изображения в 4 раза с аппроксимацией. С помощью данной модели установлено, что разработанный алгоритм фазовой коррекции позволяет определять нестабильность скорости съемки земной поверхности с точностью 1/16 пикселя.

**Особенности расчета энтропии шумового сигнала**

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.  
Белорусский национальный технический университет

При проектировании и анализе систем защиты информации возникает задача оценки качества шума, генерируемого активными средствами защиты (генераторами преднамеренных помех). Для решения этой задачи целесообразно иметь представление об энтропии шумового сигнала, огибающая которого распределена по закону Релея с дисперсией  $\sigma^2$  и плотностью вероятности

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right).$$

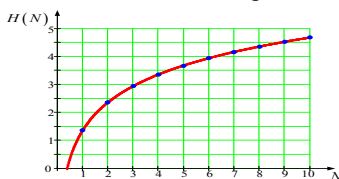
Как известно, при определении энтропии системы, состояния которой являются непрерывной случайной величиной, необходимо ввести в рассмотрение отрезок неопределенности  $\Delta x$ . В пределах данного отрезка состояния системы неразличимы и можно непрерывную систему приближенно заменить дискретной, для которой энтропия определяется формулой

$$H = H^* - \log \Delta x = - \int_0^{\infty} f(x) \log f(x) dx - \log \Delta x.$$

Входящий в выражение несобственный интеграл может быть найден аналитически и выражен через постоянную Эйлера  $\gamma \approx 0,5772$ . В итоге энтропия  $H$  может быть выражена в виде

$$H \approx 1,359 + \log \frac{\sigma}{\Delta x} = 1,359 + \log N.$$

Зависимость энтропии системы от числа  $N$  приведена на рисунке.



Зависимость энтропии от числа  $N$



**Системы поддержки принятия решений  
на железнодорожном транспорте**

Кралеви́ч Д.В.

Белорусский национальный технический университет

В диссертации разрабатывается программное обеспечение для системы поддержки принятия решений на железнодорожном транспорте. Рассмотрим основные моменты. Тема диссертации является актуальной потому, что в существующих системах поддержки принятия решений на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь не существует мобильных приложений, с помощью которых можно забронировать билет на железнодорожный транспорт, а, тем более, оформить подписку на уведомления о появлении новых рейсов и свободных мест.

Кроме того актуальность диссертации заключается в том, что разработка собственной системы позволит решить проблемы импортозамещения, которые способствуют развитию новых технологий в Республике Беларусь, созданию рабочих мест.

Целью диссертации является разработка системы бронирования билетов через мобильное приложение с возможностью уведомления о появлении новых рейсов и свободных мест в поездах местного и международного сообщения

Задачи, которые решаются при проведении диссертационных исследований следующие:

1. Анализ существующих систем поддержки принятия решений при организации движения и обеспечения пассажирских перевозок на железной дороге.

2. Выбор технологий для разработки программного обеспечения системы поддержки принятия решений при решении задач пассажирского движения на железнодорожном транспорте.

3. Разработка программного обеспечения распределения грузопотоков пассажирского движения.

4. Апробирование разработанного программного обеспечения при решении практических задач

Объектом исследования является сервис по бронированию и продаже билетов на железнодорожном транспорте.

Предметом исследования является улучшение качества обслуживания пассажиров.

Задачи решаются с помощью специально разработанного программного обеспечения.

**Формирование общего секрета с помощью синхронизируемых искусственных нейронных сетей и его уязвимости**

Ксеневиц А.Ю., Голиков В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Безопасная пересылка данных является одним из самых важных вопросов в современном информационном мире. Ключевую роль в этой сфере играет криптография, позволяющая шифровать важную информацию, защищая тем самым ее от несанкционированного доступа.

Безопасность криптографических систем зависит от трудности решения проблем теории чисел (например, проблема факторизации, проблема дискретного логарифмирования). Однако рост вычислительной мощности современных компьютеров требует применения всё более длинных целых чисел, составляющих параметры криптографических систем. С другой стороны, использование всё более длинных целых чисел вызывает рост вычислительной сложности криптографических алгоритмов. Поэтому так интересны любые новаторские криптографические системы, не использующие теорию чисел.

Одной из таких новых идей является применение нейронных сетей для формирования общего криптографического ключа при обмене информацией по незащищенным каналам связи. Эта задача решается в настоящее время в основном с использованием алгоритма Диффи-Хеллмана. Протокол формирования общего ключа, использующий нейронные сети, базируется на их синхронном обучении. Обучение двух нейронных сетей с использованием их общих выходных величин ведёт к возникновению идентичных векторов весов. Сети обмениваются между собой выходными и входными величинами, при этом секретными остаются внутренние состояния векторов весов. Следовательно, вектор весов может составлять секретный ключ, использующийся для дальнейшей передачи информации по незащищенным каналам. Третья сторона, следящая за обменом информацией между обеими сетями, пытается восстановить внутренние значения векторов весов сетей. В докладе анализируется безопасность метода по отношению к различным атакам третьей стороны. Методом имитационного моделирования определены вероятность достижения полной синхронизации между санкционированными пользователями за отведенное число тактов синхронизации и вероятность достижения полной синхронизации третьей стороны с одним из санкционированных пользователей. Показано, что последняя вероятность может достигать величины, при которой использовать данный метод не безопасно.

## **Информационная модель учебных планов кафедры**

Куприянов А.Б.

Белорусский национальный технический университет

Основными исходными документами кафедры по организации учебной работы являются учебные планы. Учебный план разрабатывается для каждой специальности и для каждого вида обучения, поэтому на кафедре, как правило, одновременно используются несколько учебных планов. На основе учебного плана производится расчет и распределение учебной нагрузки между преподавателями, формируется годовой план работы кафедры и индивидуальные планы преподавателей, создаются учебные программы дисциплин и выписки из дипломов выпускников и другие документы.

Информация из учебных планов используется в большинстве документов кафедры как непосредственно, так и в качестве исходных данных для различных расчетов. Разработка информационной системы на основе базы данных, содержащей информацию об учебных планах кафедры, о студентах и преподавателях, позволит существенно сократить время на формирование кафедральной документации и проведение различных расчетов, связанных с организацией учебной работы.

Разрабатываемая на кафедре ПОВТ БНТУ информационная система «Кафедра» содержит 22 таблицы, содержащие информацию об учебных планах и рабочих программах, преподавателях кафедры и обучающихся студентах.

Все учебные планы кафедры могут быть представлены в виде схемы данных, включающей шесть связанных таблиц, описывающих следующие сущности: учебные планы, план учебного процесса, дисциплины, кафедры, специальности и специализации. Такая модель учебных планов позволила разработать интерфейс приложения, позволяющего легко вносить данные в базу данных и обеспечить их целостность.

Разработанное приложение на основе информационной модели учебных планов является основой для расчетов нагрузки по дисциплинам и распределения нагрузки преподавателей, а также позволяет формировать приложения к дипломам и другие документы для организации учебного процесса на кафедре «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» факультета информационных технологий и робототехники. Данное приложение может использоваться для системы поддержки принятия решений по организации учебного процесса на других факультетах.

**Регулятор демпфирования случайных колебаний**

Лобатый А.А., Абуфанас А.С.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача демпфирования случайных воздействий на подвижную платформу с размещенной на ней системой мониторинга земной поверхности, установленную на беспилотном летательном аппарате. Если в системе мониторинга применяется гироскопический привод в виде гиросtabilизированной платформы, с которой жестко механически связана система мониторинга, то случайное воздействие турбулентности на подвижную платформу в значительной степени демпфируется гироскопами привода. При применении электрического привода подвижной платформы необходимо применять дополнительные устройства, компенсирующие влияние турбулентности атмосферы. В качестве внешнего воздействия рассматривается случайная турбулентность атмосферы, описываемая с помощью формирующего фильтра, на вход которого поступает белый шум. Система мониторинга с подвижной платформой рассматривается как система управления, критерием оптимальности которой предлагается использовать критерий качества стохастической нормы системы, которая количественно характеризует чувствительность выхода системы к случайным входным возмущениям, вероятностное распределение которых известно не точно. Это приводит к специальному варианту стохастической нормы – анизотропийной норме. Рассматривается методика построения робастной системы фазового управления с применением анизотропийного регулятора. Путем математического моделирования получены коэффициенты оптимального регулятора. В качестве примера для оценки работоспособности предлагаемого алгоритма рассматривается один из каналов управления подвижной платформы, заданный дискретной математической моделью второго порядка. Представлены качественные иллюстрации работоспособности предлагаемого алгоритма и количественные характеристики изменения выходных сигналов.

Применение анизотропийных регуляторов демпфирования подвижной платформы БЛА является перспективным, так как позволит снизить влияние на качество работы системы неопределенностей, обусловленных различиями между выбранной математической моделью и реальной оптимизируемой системой. Результаты моделирования показывают, что применение данных регуляторов в несколько раз уменьшает ошибку определения угловой.

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 «микро» типа «Стриж», класса «мини» типа «Бусел» и его модификации «Бусел М» и «Бусел М50», БАК «Буревестник» среднего класса.

Кроме создания беспилотных летательных аппаратов (БЛА) ведется разработка для них систем управления (гиростабилизированных телевизионных, инфракрасных, мультиспектральных), предназначенных для установки на разрабатываемые БЛА. Разрабатывается также стендовое оборудование и тренажеры для подготовки операторов БАК.

Разработанные 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.

Опыт использования серийно выпускаемых многофункциональных БАК подтвердил их высокую надежность, эффективность и простоту управления и ремонта. С помощью разработанных БАК стало проще обеспечивать охрану государственных границ и особо важных объектов, поиск преступников и транспортных средств, обследование трубопроводов и коммуникаций, мониторинг лесных и сельскохозяйственных угодий.

При этом не останавливаются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию новых БАК с уникальными свойствами под требования заказчиков; выполняются мероприятия по расширению производственной базы и разработке новых перспективных технологий в области беспилотной авиации.

**Речевой тренажёр для формирования навыков владения  
иностраннным языком**

Марзалюк А.В.

Белорусский национальный технический университет

Необходимость изучения языков обусловлено современной мобильностью человека, большим разнообразием материалов на иностранном языке (в том числе развлекательного характера), развитием интернета, и следовательно более доступного общения вне рамок границ государств. Для этой цели было разработано множество методик обучения языку, как традиционных, так и интерактивных с применением самых современных достижений науки. На данный момент существует множество методик с применением высоких технологий, но малая часть даёт эффективный кратчайшие сроки.

Целью исследования является разработка алгоритмов управления обучения взрослых с использованием речевого тренажёра на основе визуальных моделей. Визуальные модели (ВМ) – структурные схемы языка, представленные в виде таблиц и графиков. Применение ВМ позволяет ускорить получение навыков, перенося часть нагрузки с речевой зоны мозга, на ту что обрабатывает визуальную информацию, позволяя избежать перегрузки и избежать формирования «переводного» метода («слово иностранного языка» ↔ «слово родного языка» ↔ «образ»). Вместо этого формируются навыки говорения на иностранном языке без перевода («слово иностранного языка» ↔ «образ»).

В качестве речевого компонента применяется технология Автоматического Распознавания и Синтеза речи (АРСР). Современные системы АРСР сделали качественный шаг в своём развитии давая более качественное распознавание речи и синтез речи соответственно. Уже существуют такие сервисы как Sreeshrad ([sreeshrad.ru](http://sreeshrad.ru)), реализующие в себе технологии АРСР.

В качестве ВМ применены «Лингвокарты». «Лингвокарты» - структурно-визуальные схемы языка с цветовым кодированием.

В качестве теоретической базы использованы «теория действия» Леонтьева, «теория планомерного поэтапного формирования умственных действий» П.Я. Гальперина, «кривая переучивания» А.Бандуры, метод интервальных повторений и т. д. Применение ВМ и АРСР (учитывая распространённость мобильных технологий) позволят управлять процессом обретения навыков языка, как следствие повысить эффективность обретения основных навыков языка: слушанья и говорения.

## Результаты моделирования структуры с тетраэдральным балочным наполнителем

Мартинovich В.В., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

Конструкции с наполнителем при относительно небольшой массе обладают высокими характеристиками прочности и жесткости.

В качестве примера такого подхода в докладе строится модель структуры с балочным наполнителем, образующим ребра тетраэдра.

На следующих рисунках представлены: вид балочного наполнителя (рис.1) и деформированное состояние, возникающие в структуре при постоянной нагрузке (рис. 2). В таблице представлены суммарный объем (верхнее значение в ячейке с результатами) и максимальное напряжение (нижнее значение в ячейке с результатами).

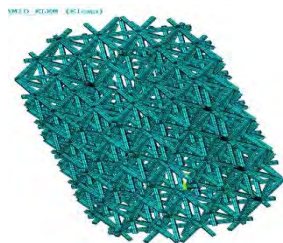


Рис. 1. – Вид наполнителя

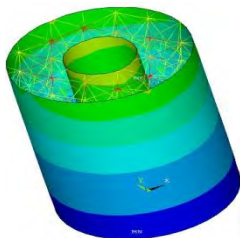


Рис. 2. – Деформированное состояние

### Результаты вариантного моделирования.

Толщина стенки Площадь сечения балки	0,2	0,4	0,6	0,8
0,25	731.861	859.980	988.100	1116.22
	272805463	131227397	83820365.6	60348815
0,36	997.508	1125.63	1253.75	1381.87
	269888839	129204373	81644795	58373485.7
0,49	1311.45	1439.57	1567.69	1695.81
	266125729	128305177	80613562.2	57106759.9
0,64	1673.70	1801.82	1929.94	2058.06
	260510487	127459234	80255494.6	56554295.8

## Оптимизационная модель тонкостенной конструкции с наполнителем на основе командного файла

Мартинovich В.В., Боровок О.А., Ермилов В.В.  
Белорусский национальный технический университет

Конструкции с наполнителем при относительно небольшой массе обладают высокими характеристиками прочности и жесткости.

В данной работе рассматривается построение геометрии, анализ напряженно-деформированного состояния структуры с наполнителем и выбор ее оптимальных параметров.

На рисунках представлены: деформированное состояние структуры с наполнителем (рис.1) и изменение объема в зависимости от номера итерации (рис. 2). В дальнейшем были выполнены оптимизационные вычисления.

В качестве варьируемых параметров для оптимизационной модели принимаем толщину стенок втулки и толщину плоскостей наполнителя.

Критерием оптимальности является объем материала, который должен быть минимальным. В качестве функционального выступает ограничение на максимальное эквивалентное напряжение, которое не должно превышать предела текучести.

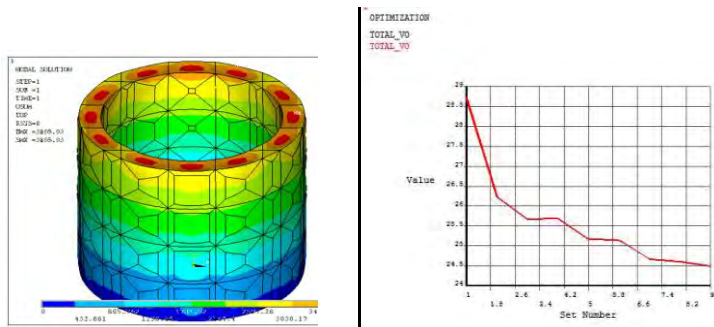


Рис. 1. Деформированное состояние      Рис. 2. Зависимость объема от номера итерации

В результате оптимизации удалось уменьшить объем структуры на 14,3%, при этом максимальное напряжение в материале увеличилось на 14,2%, но осталось в пределах заданных ограничений.

Модель подготовлена с использованием языка APDL, с помощью которого в рамках единого командного файла можно создать параметрическую модель конструкции и сформулировать задачу оптимизации.



**Необходимость автоматизации бизнес-процессов  
в высоконагруженных системах**

Муравейко В.А., Попова Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет

Высоконагруженные системы, как правило, являются многопользовательским. В эру стремительного развития Интернета количество пользователей может достигать сотни тысяч человек. Высоконагруженные системы являются системами распределенными, то есть работают более, чем на одном сервере, а зачастую это могут быть и десятки и сотни серверов. Требование распределенности обусловлено необходимостью обрабатывать возрастающие объемы данных, а также необходимостью отказоустойчивости системы в случаях аварии на части серверов. Поэтому в современных условиях крупным компаниям не обойтись без хорошей ИТ-инфраструктуры, создание и поддержку которой тратятся миллионы денежных средств и человеко-часов.

Стоит отметить, что большинство повторяющихся задач в крупных системах должны выполняться по расписанию либо после какого-то определённого события. Такой тип работы называется *workload automation*, что в переводе с английского языка означает «автоматизация рабочей нагрузки». Данный тип работ помогает автоматизировать огромное количество бизнес-процессов, сократить время отклика, сократить расходы и повысить общую эффективность. Автоматизация в его рамках варьируется от простого алгоритма планирования заданий до надежной и интеллектуальной системы управления рабочими процессами, которая затрагивает все аспекты организации. Система автоматизации нагрузок действует как единый центр управления, который добавляет новый уровень эффективности в планирование, выполнение и мониторинг различных асинхронных приложений, которые выполняются в сложной, разнообразной и распределенной ИТ-среде. Это особенно важно, поскольку компании перешли от управления отдельными приложениями для бизнес-процессов к более сложным, многопользовательским и многопрофильным ИТ-системам, включающим в себя настольные, мобильные приложения, мейнфреймы и облачные системы. Это позволяет быстро наращивать масштабы и широту бизнес-процессов, а также управлять различными системами со сложными и разнообразными рабочими нагрузками.

Исходя из вышеперечисленного, крупным компаниям жизненно необходимы гибкие и надежные системы для автоматизации областей, критических с точки зрения ведения бизнеса.

## Особенности построения геометрической части конечно-элементной модели плужного отвала

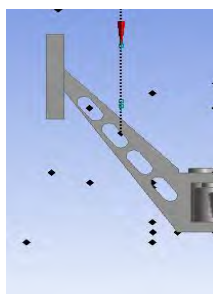
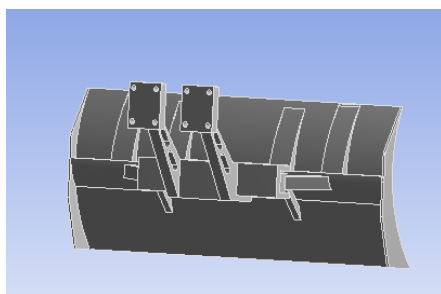
Напрасников В.В., Хотько А.А.

Белорусский национальный технический университет

Плужной отвал является частью дорожной машины, предназначенной для перемещения больших масс грунтов. В силу специфики работы эта часть конструкции может испытывать большие нагрузки. В то же время она является весьма материалоемкой. Таким образом, возникает актуальная задача по подготовке параметрической модели этой структуры, которая послужит основой для дальнейших оптимизационных расчетов.

Разработка и построение геометрической части конечно-элементной модели плужного отвала является самой важной частью по созданию проекта. Эскиз – начальный этап к созданию геометрической модели плужного отвала. Эта часть модели была построена на основе рабочих чертежей конструкции плужного отвала дорожной машины.

Особенностью модели является задание ее толщины креплений и толщины ковша как параметров. Вся геометрическая часть конечно-элементной модели отвала состоит из двух основных частей: ковша и крепления ковша к рабочей машине (рисунок).



Модель плужного отвала с овальными краями (слева) и укрупненная часть одного варианта крепления (справа)

Поскольку основной задачей является снижение материалоемкости были предусмотрены несколько вариантов геометрической модели:

- модель с круглыми отверстиями;
- модель с овальными отверстиями;
- модель с фигурными краями отвала;
- модель с ровными краями отвала.

Новицкий В.В., Лопато А.Г., Юницкая А.А., Мирончик Д.Ю.  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Для аппаратно-ориентированной компрессии гиперспектральных изображений (ГСИ) земной поверхности разработан алгоритм eНВСТ, основанный на иерархической кластеризации сегмента битовой плоскости фиксированного размера, построении кода с учетом его компактности и энтропийном кодировании.

Алгоритм НВСТ состоит из следующих основных шагов.

1) Выполнение дискретного вейвлет-преобразования над входным изображением (целочисленные вейвлеты CDF 5/3 в случае сжатия без потерь или рациональные вейвлеты CDF 9/7 в случае сжатия с потерями).

2) Сканирование матрицы вейвлет-коэффициентов по Z-развертке в одномерный массив.

3) Считывание из одномерного массива вейвлет-коэффициентов одного или нескольких блоков бит размером 1024.

4) Разбиение битовых блоков на четыре равные части (размером 256) и их бинарная кластеризация.

5) Вычисление длины вложенного кода по сформированным на шаге 6 бинарным кластерным деревьям.

6) Оценка компактности вложенного кодирования.

7) Формирование вложенного кода на основе бинарных кластерных деревьев и формирование кода знаков.

Выходной поток кодера НВСТ является хорошо структурированным, поэтому существует возможность его разбиения на несколько пакетов на этапе формирования прогрессивного потока. Это дает возможность использовать неравномерные коды для помехоустойчивого кодирования и распараллелить работу декодера. Произведена оценка эффективности разработанного алгоритма сжатия. Рассмотрены различные варианты обработки ГСИ (двумерное вейвлет-преобразование спектральных каналов, поканальное вычитание спектральных каналов, двумерное вейвлет-преобразование разностей спектральных каналов, поканальная операция XOR спектральных каналов, двумерное вейвлет-преобразование результатов поканальной операции XOR спектральных каналов, трехмерное вейвлет-преобразование гиперкуба). Установлено, что при использовании вейвлет-преобразования, разработанный алгоритм не уступает в коэффициенте сжатия алгоритму JPEG2000. При этом алгоритм JPEG2000 имеет на порядок большую вычислительную сложность по сравнению с алгоритмом eНВСТ.

**Разработка сайта «Хутор Булатово под Гольшанами»  
на основе CMS «Агротуризм»**

Коптевич Е.В., Пентегов В.В

Белорусский национальный технический университет

Объектом разработки является сайт сельского туризма «Хутор Булатово под Гольшанами», предназначенный для продвижения проекта хутора в сети Интернет.

Реализация сайта Хутор Булатово выполнена с использованием разработанной ранее системы управления контентом Content management system (CMS) в области агроэкотуризма, которая реализована на основе языка гипертекстовой разметки HTML5, каскадных таблиц стилей SCC3, скриптового языка PHP, СУБД MySQL и приложения PHPMyAdmin.

Система управления контентом «Агротуризм» обладает следующими возможностями:

- передача информации пользователю путем формирования страниц с нужным контентом;
- редактирование контента;
- редактирование мультимедийных материалов;
- редактирование данных пользователя;
- редактирование структуры сайта, путем изменения категорий и тэгов;
- редактирование и создание контактной информации статических страниц;
- установка новых виджетов или баннеров.

Сайт «Хутор Булатово» включают в себя следующие страницы: «Главная» с бегущей строкой фотографий, «О проекте», «Новости», «Гостиная» с вкладками «Галерея» и «Гостевая книга», «Контакты» с вкладками «Контактная информация» и «Как доехать», реализованной на основе интерактивной карты Google.

Страницы «Новости» предполагают обновление информации один-два раза в месяц, остальные страницы содержат условно-постоянную информацию.

Сайт Хутор Булатово имеет двухуровневую структуру, что обеспечивается с помощью горизонтального выпадающего меню, интегрированного на все страницы.

Модули сайта представляют собой единое целое в виде информационной интернет системы для обеспечения и организации совместного процесса создания, редактирования и управления содержимым сайта.

**Алгоритм регрессивного волнового выращивания областей  
для сегментации изображений**

Рабцевич В.В., Ловецкий М.Ю., Панас В.А.  
Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

Целью сегментации является изменение представления изображения, чтобы его было проще и легче анализировать. В стандартных задачах, сегментация обычно используется для того, чтобы выделить объекты и границы. Результатом работы алгоритмов сегментации является множество сегментов, покрывающих всё изображение, или множество контуров, выделенных из изображения. Пиксели в каждом сегменте объединяются по некоторой характеристике или заданному свойству. Пиксели соседних сегментов должны значительно отличаться по выбранной характеристике.

Для сегментации некоторых видов изображений, в которых важно сохранить информацию о яркости пикселей, разработан регрессивный алгоритм на основе алгоритма волнового выращивания областей.

Данный алгоритм осуществляет квазипараллельное выращивание областей вокруг выбранных начальных точек роста, за которые берутся максимальные для выбранного уровня яркости, области, что позволяет повысить точность сегментации изображений, с сохранением информации о яркости, которые известные методы сегментируют с большой избыточностью.

В результате выполнения данного алгоритма формируется матрица сегментации, значение каждого элементанесет информацию о номере сегмента, которому принадлежит пиксель сегментируемого изображения с соответствующими координатами. С каждым циклом перебора выращиваемых областей размеры сегментов и их количество постепенно увеличиваются. Алгоритм прерывается при полном переборе пикселей исходного изображения. Это позволяет разделить изображения на области начиная от самых светлых частей, до самых темных.

Установлено, что предложенный алгоритм проигрывает в стабильности числа сегментов в 1,5 раза при изменении угла поворота и выигрывает в 3,3 раза при изменении яркости по сравнению с алгоритмом сегментации на основе выращивания областей. Так же данный метод выигрывает в 1,05 раза по устойчивости числа сегментов при изменении угла поворота и проигрывает в 1,03 раза в стабильности числа сегментов при изменении яркости по сравнению с алгоритмом волнового выращивания областей.

**Автоматизация проходческих комплексов  
горнодобывающих предприятий**

Раджух М.А, Хамицевич Д.А.

Белорусский национальный технический университет

В отечественной и зарубежной практике проведения горных выработок на угольных и калийных шахтах наибольшее распространение получили два основных способа разработки забоя и погрузки разрушенной массы: комбайновый и буровзрывной.

Повышение интенсивности горных работ обуславливает необходимость совершенствования комбайновой проходки, чему способствует автоматизация горнопроходческих машин. Одному из аспектов автоматизации соответствует управление, при котором запуск структурных единиц рассматриваемых технических объектов осуществляется оператором, а последующая их работа выполняется автоматически на основе выработки управляющих воздействий подсистемами автоматизации без участия обслуживающего машины персонала.

Автоматизация обеспечивает улучшение технико-экономических показателей. Объектом исследования является проходческий комбайн. Проходческий комбайн — горная машина, предназначенная для разрушения массива горных пород, погрузки горной массы в транспортные средства (вагонетки, конвейер, перегружатель и др.).

Данные машины используют в качестве рабочей энергии – электрическую энергию. Для подвода электроэнергии используется устройство управления взрывозащищенного типа КУУВП10М.

Система запуска и работы защит комбайна основана на релейной схеме защиты и автоматики. Релейная схема включает большую номенклатуру устройств. Ведь из-за обилия устройств защиты вероятность поломки или отказа существенно повышает, а также усложняется поиск причины и затраты на ремонт.

Поэтому для сокращения элементов цепи управления комбайном предлагается внедрить микропроцессорный тип управления и защиты комбайна, за счет установки микропроцессорного контроллера.

Для осуществления этого, необходимо досконально изучить принцип работы и управления комбайном ПКС-8М, разработать алгоритм работы данной машины в виде блок-схемы алгоритма, разработать ПО и запрограммировать микропроцессорный контроллер в соответствии с логикой работы комбайна и осуществить анализ быстродействия и надежности работы данной системы.

## **Автоматизация приготовления шоколадной массы**

Сечко А.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных этапов производства шоколада, является этап коншевания. Во время коншевания смешивается какао, тертое с сахарной пудрой, маслом какао и другими компонентами и затем вымешивается в течении 24-72 часов при температуре 60-70 °С - для массы без добавок и 45-50 °С - для массы с добавками.

Процесс коншевания происходит в конш-машинах, представляющих собой два металлических цилиндра, между которыми находится теплоноситель для подогрева (вода) и установлен датчик температуры, внутри вставлена лопасть для перемешивания приводимая в движение электродвигателем через редуктор, конш-машина устанавливается на тензометрические датчики, для определения веса содержимого, к конш-машине так же подходят трубы подающие исходные компоненты, на которых установлены пневмоклапаны, и установлен насос для откачки содержимого.

Для автоматизации будем использовать программируемый контроллер, на который приходят сигналы от объекта: термодатчика, тензометрического датчика, магнитных датчиков положения клапанов и сигнал от пускателя. Контроллер управляет клапанами и двигателями. Кроме того, контроллер планируется включить в общую сеть PROFIBUS для коммуникации с преобразователям частоты, пневмоостровом, графической панелью и пультом оператора.

Для программирования PLC целесообразно использовать язык LD - язык релейных схем, удобный для программирования логики контроллера и обеспечения наглядного интерфейса логики работы контроллера, не только задачи собственно программирования и ввода в эксплуатацию, но и быстрый поиск неполадок в подключаемом к контроллеру оборудовании. Возможно применение так же текстового паскалеподобного языка ST, который удобен для программирования больших программ и работы с аналоговыми сигналами, и числами с плавающей точкой.

Рассматривая возможные альтернативы, необходимо отметить перспективы использования языков последовательного управления, входящих в семейство МЭК –языков SFC (Sequential Function Chart).

Диаграммы SFC являются высокоуровневым графическим инструментом, благодаря которому идея превращения модели системы в законченную программу является реальностью. Это позволяет говорить о создании прототипа управляющей программы.

**Разработка АСУ ТП подстанции 110 кВ района «Х»**

Скок А.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в энергетике одно из главных мест занимают вопросы автоматизации и эффективности управления. Эти положения рассматриваются в контексте внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами. Максимально повышается качество и оперативность управления энергосистемой.

Благодаря этому диспетчеры оперативно-диспетчерской службы вовремя принимают решения по восстановлению энергосистемы, сохранению работоспособности оборудования во время аварийных ситуациях.

Повышение эффективности технологических объектов и процессов обеспечивается решением следующих проблем:

- контроль и учет параметров технологических процессов;
- обеспечение надежности и безопасности управления технологическими процессами и повышение на этой основе надежности электроснабжения потребителей;
- сохранение и продление ресурса технологического оборудования;
- предотвращение аварий и ликвидация их последствий с меньшими затратами;
- экономия эксплуатационных затрат и сокращение численности обслуживающего персонала;
- снижение экономических потерь, возникающих вследствие недостаточной информационной и общей безопасности;
- снижение стоимости владения технологическим объектом.

АСУ ТП строиться как иерархическая многоуровневая, распределенная человеко-машинная система работающая в темпе протекания технологического процесса. АСУ ТП оснащаться средствами сбора, обработки, отображения, регистрации, хранения и передачи информации.

Для наглядного представления и демонстрации возможной автономной работы и удаленного управляющего воздействия на элементы подстанции разработана мнемосхема и связанный с ней программный код, который в свою очередь может быть загружен в промышленный контроллер.

Разработанная система может выступать примером повышения автоматизации на энергетических объектах и позволит снизить опасность для обслуживающего персонала и повысить надежность электроснабжения потребителей.



**Подходы к автоматическому подъему и горизонтированию опорной платформы**

Стрижнев А.Г., Шихов А.А.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью  
«ОКБ ТСП»

В различных областях промышленности, строительстве, военном деле и др., часто возникает необходимость подъема и горизонтирования опорных платформ (ОП) с расположенным на них специальным оборудованием (подъемные краны, бурильные установки, системы оптического наблюдения, радиолокационные станции, пусковые ракетные установки и др.). В докладе рассмотрены различные подходы к построению систем подъема и горизонтирования (СПГ), находящих широкое применение в современной технике.

С целью упрощения реализации была разработана упрощенная классификация СПГ по требованиям к точности горизонтирования (низкая, средняя и высокая точность) и принадлежности специальной техники по назначению. Исходя из классификации, был определен состав оборудования, круг решаемых задач, достоинства и недостатки различных СПГ, сделаны выводы и даны практические рекомендации.

Для реализации СПГ низкой точности необходимо минимальное количество элементов, но при этом круг решаемых задач весьма узок, и такие системы в основном используются для придания ОП устойчивости во время работы спецоборудования. В случаях, когда используется оборудование, чувствительное к отклонению ОП от заданного угла наклона, но способное частично компенсировать это отклонение, необходимо применять СПГ средней точности, обладающих оптимальным соотношением цена/качество.

Для специализированного оборудования, задачей которого является позиционирование или сканирование пространства, наблюдение за объектами и определение их координат, необходимо использовать СПГ высокой точности. Такие СПГ обладают углубленной самодиагностикой, несколькими степенями аварийной защиты, повышенной надежностью и точностью работы. Они способны обеспечить высокое качество работы радиолокационных станций, оптико-электронных систем и другого спецоборудования. Полученные результаты и выводы позволяют еще на этапе проектирования ориентировать разработчиков на выбор требуемой структуры СПГ, учитывающей широкое использование современных информационных технологий.

## Применение фреймворка PROTRACTOR для тестирования веб-приложений

Фрузоров М.О., Попова Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизация тестирования помогает сократить время на проверку качества ИТ-систем и подходит для проведения множества регулярных операций – от имитации работы пользователя до создания отчетов о состоянии тестирования. Кроме того, позволяет проводить проверки, недоступные при ручном тестировании.

До недавнего времени основным языком разработки в автоматизированном тестировании считалась Java, с использованием которой выполнение тестового сценария происходит последовательно и синхронно, т.е. необходимо выполнить каждый тестовый шаг и обязательно дождаться его результата.

При тестировании веб-приложений, реализованных на JavaScript (JS), необходимо помнить, что это асинхронный язык программирования, и тестируемое приложение выполняет по несколько тестируемых шагов одновременно. И, если для такого приложения попытаться написать автоматизированные тесты на Java, то возникает проблема. Для решения этой проблемы используется фреймворк Protractor, основная идея которого заключается в обеспечении синхронизации между тестовым кодом (тестовыми скриптами) и приложением, построенным на популярном AngularJS.

Protractor базируется на WebDriverJS, разрабатывается и поддерживается командой Angular (Google) и включает в себя фреймворк для запуска из интерфейса командой строки; обеспечение интеграции с популярными тестовыми фреймворками, такими как Jasmine, Mocha, Cucumber; обеспечение обработки синхронизации; обеспечение дополнительного API для работы с DOM-элементами.

Синхронизация Protractor с Angular-приложением в общем виде выглядит так: существует драйвер, браузер и некоторое действие, которое вызывается из тестового приложения. Protractor дожидается момента, когда загрузилась страница в браузере, дожидается, когда загрузилось Angular-приложение на страницу. Между каждым действием, которое имеется в WebDriverJS, выполняется скрипт, который обеспечивает синхронизацию с Angular-приложением.

В настоящее время автоматизация тестирования на основе JavaScript активно развивается и в будущем будет занимать лидирующую позицию на рынке тестирования web-приложений.

## **Особенности и применение пакета прикладных программ Matlab и его основного расширения Simulink**

Хвилько Е.А.

Белорусский национальный технический университет

MATLAB (Matrix Laboratory) – это пакет прикладных программ, предназначенный для решения задач технических вычислений. MATLAB – это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов. С помощью MATLAB можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать модели и приложения.

Расширение Simulink является приложением к пакету MATLAB. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования. При этом пользователю не нужно досконально изучать язык программирования, а достаточно общих знаний и знаний предметной области в которой он работает.

При работе с Simulink пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков. При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, следить за процессами, происходящими в системе. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Преимущество Simulink заключается также в том, что он позволяет пополнять библиотеки блоков с помощью подпрограмм написанных как на языке MATLAB, так и на языках C++, Fortran и Ada.

Наиболее известные области применения системы MATLAB:

математика и вычисления (предоставляет пользователю большое количество функций для анализа данных);

разработка алгоритмов (предоставляет средства для разработки, включая высокоуровневые с использованием концепций ООП);

визуализация данных (большое количество функций для построения графиков, визуального анализа данных);

внешние интерфейсы (для получения доступа к внешним подпрограммам, написанным на других языках программирования).

Нынешний MATLAB – это высокоэффективный язык инженерных и научных вычислений. Он поддерживает математические вычисления, визуализацию научной графики и программирование с использованием легко осваиваемого операционного окружения, когда задачи и их решения могут быть представлены в виде, близкой к математической.

## **Детектирование антропогенных объектов на кадрах видеопотока с борта БЛА на основе пространственных признаков**

Шевчук О.Г., Крамков Д.А., Цветков В.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Основными задачами БЛА являются поиск и сопровождение объектов на кадрах видеопотока. Большой интерес представляют собой рукотворные (антропогенные) объекты. В системах управления БЛА выбор объекта сопровождения в видеопотоке зачастую осуществляется оператором в режиме реального времени, что является сложной задачей, особенно при отсутствии стабилизации видеопотока, не больших размерах объекта и т. д. Для помощи оператору в захвате объекта можно использовать различные методы детектирования антропогенных объектов на изображении, которые условно можно разделить на три типа:

1. Методы на основе анализа периодических текстур. Недостатком данных методов является невозможность детектирования небольших антропогенных объектов, таких как дом, дорога и д. р.

2. Методы на основе многоспектральной обработке пространственных данных. Требуют наличие на борту БЛА многоспектральной камеры, а также зависят от погодных условий.

3. Методы на основе пространственных признаков.

Предлагается алгоритм детектирования антропогенных объектов на изображении на основе пространственных признаков, состоящий из следующих шагов:

1. Сегментация изображения.

2. Поиск и параметризация контуров каждого найденного сегмента. На данном этапе осуществляется выделение и нормализация по толщине краев выделенного сегмента, а также выполняется поиск углов для ломаных и многоконцевых краев. Дополнительно рассчитываются такие параметры как форм-фактор (для двухконцевых краев) и количество выделенных краев длиной, превышающей заданный порог (4 пиксела).

3. Анализ параметров каждого сегмента на антропогенность. В качестве критериев анализа можно использовать количество выделенных прямых линий в сегменте, отношение количества углов в кривых линиях к их пиксельной длине и др.

К недостаткам алгоритма можно отнести его зависимость от предобработки изображения (выбранного метода сегментации, алгоритма детектирования краев), невозможность применения для детектирования небольших (5-7 пикселей) объектов и эмпиричность критериев анализа.

**Оптимизация системы управления бесконтактным двигателем  
постоянного тока**

Юденко Д.Г.

Белорусский национальный технический университет

Одним из наиболее перспективных устройств электропривода по совокупности технических и эксплуатационных характеристик являются бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ). Эти двигатели обеспечивают устойчивую работу привода в режимах с изменяющейся нагрузкой, имеют относительно высокий КПД и могут быть реализованы в малых габаритах.

Для улучшения показателей качества системы управления БДПТ в переменных режимах работы объекта управления, таких как разгоны и торможения с нагрузкой и вхолостую, могут применяться адаптация параметров регулятора и его структуры.

На данный момент разработано много методов управления для уменьшения влияния помех, таких как классическое управление, метод пространственного положения, обратная связь состояния и оптимальный контроль, но это не дает хорошего решения проблемы уменьшения влияния возмущения. Хорошие результаты дает переход с пропорционального (П) на пропорционально-интегральный (ПИ) регуляторы и наоборот в процессе работы. В качестве параметра, характеризующего изменение свойств объекта, может использоваться величина возмущения, например, механический момент на валу двигателя.

Более широкие возможности для адаптивного регулирования дает использование пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора скорости с адаптивной структурой и переменной постоянной времени интегрирования. Такой регулятор является одним из перспективных решений проблем, возникающих из-за изменения параметров системы и условий окружающей среды. ПИД-регулятор - очень простое, быстрое и надежное решение по сравнению с классическим управлением. Это механизм обратной связи контура управления, который непрерывно вычисляет значение ошибки как разность между измеренным значением технологической переменной и заданным значением. Задачей же регулятора является минимизация ошибки во времени путем регулировки управляющей переменной. Данный регулятор применительно к ЭМС с БДПТ с учетом специфических конструктивных особенностей последнего нуждается в дополнительном исследовании и разработке новых и перспективных методов, моделей и алгоритмов формирования управляющих функций.

## Photovoltaic Station Maximum Power Point Tracking Methods Evaluation

Elzein I.A., Petrenko Y.N.  
Belarusian National Technical University

As known from a (P-V) curve of a solar panel, there is an optimum operating point such that the PV delivers the maximum possible power to the load. The optimum operating point changes with the solar irradiation, and cell temperature. Therefore, on line tracking of the maximum power point of a PV array is an essential part of any successful PV system.

A variety of maximum power point tracking (MPPT) methods are developed. The methods vary in implementation complexity, sensed parameters, and required number of sensors, convergence speed, and cost.

Many researchers have been dividing the different MPPT methods into three categories as follows:

(i) Offline methods, which are those that require information regarding the panel I-V curve, and also temperature and irradiation levels; among these methods it is possible to find:

(a) Open-circuit voltage and short-circuit current methods, which define the MPP, respectively, as a fraction of the panel open-circuit voltage,  $V_{oc}$ , or the short-circuit current,  $I_{sc}$ ;

(b) Artificial intelligence methods, such as those based on neural networks or fuzzy logic;

(ii) online methods, which are those that require instantaneous measurements of the photovoltaic panel output current and output voltage; the main advantage of these methods is that no information on the panel I-V curve or regarding irradiation or temperature levels is required; some examples of these methods could be:

(a) Perturbation and observation methods;

(b) Incremental conductance methods;

(c) power peak seeking methods;

(iii) Hybrid methods, which are those that combine two different methods, each one from one of the above categories; the offline method is used to get a quick approximation to the MPP whereas the online method is used to improve the result. Nevertheless, it should also be pointed out that this evaluation does not include all possible methods.

A more extensive description and classification of MPPT methods can be found at numerous references. As expected, the high scientific production regarding MPPT methods makes periodical benchmarking necessary, in order to be able to select the best method for every photovoltaic system.

## Evaluation of Ideal Single Diode Characteristics for Modeling of Solar PhV Cell

Elzein I.A., Petrenko Y.N.  
Belarusian National Technical University

Despite the relatively high cost of solar modules, PhV power systems have been commercialized in many countries for its long term economic prospects and more crucially, the concerns over the environment. These systems, which could be grid- connected or stand-alone, are being installed in wide-ranging power capacities and by using various silicon technologies.

Regardless of the type and size, one critical component of any PhV is the effectiveness of its maximum power point tracker (MPPT). This area has been and is still attracting immense interest from PhV research communities as well as industrial players because it is the most economical way to improve the overall PV system efficiency.

Conceptually, MPPT is a simple problem; it is basically an operating point matching between the PhV array and power converter. However, because of the non-linear I–V characteristics of the PhV curve and the consequence of the varying environmental conditions (particularly insulation and temperature), tracking the correct Maximum Power Point (MPP) can sometimes be a challenging task [1].

The key factor that affects the results of the simulation and accuracy in representation the nonlinear characteristics of the PhV system are modeling. There are different kinds of parametric models presented in various literatures in the past few decades, like single-diode model, two diode models, and much more.

The most commonly used models are single diode and two diode models, as they provide better relations with a practical solar cell keeping in mind the simplicity in implantation and the iteration speed in the extracting parameters as well as I-V and P-V curves also gives minimum error with respect to characteristics of solar PV cell as per manufacturer`s datasheet ,

The ideal single diode model is known to be the most simplified form of an ideal PV cell through which the output voltage and current relations comes out to be calculated.

Thanks to its simplicity it is convenient to use for preliminary calculations to support on-line control of the PhV array in limited time interval.

### Literature

Etienne , S. Explicit model of photovoltaic panels to determine voltages and currents at the maximum power point/ S. Etienne, A. Teyssedou // Solar Energy-2011. – vol 85(5), p. 713-22.

## **The Evolution of Network Navigation System**

Pei Ping

Belarusian National Technical University

The network navigation system provides users with navigation information services technology and business model. Network navigation is also known as "smart navigation", "central navigation" which is the next generation vehicle navigation technology has relative to the autonomous navigation technology. Internet, mobile communication network and terrestrial digital broadcasting network as the basic system of communication and navigation information framework, which provide service to the vehicle terminal. All of network navigation information is "dynamic" and "based on real-time road and traffic status".

The navigation information service center is a distribution structure and processing of all navigation information data. It is based on geodatabase navigate data processing and information dissemination to support the network technology to achieve vehicle management and location services, such as integrated navigation services business. It is relative to the car navigation terminal "server"

Car navigation terminal is the customer of the information service center, the customer through the "initiated" or "under Push " get information from the server to obtain a variety of navigation services. Chinese industrial capacity and the level of mass consumption are very suitable this technical structure currently.

The business model of network navigation includes the public-oriented consumer service model and the group-oriented special service mode. Business model is based on "service", and autonomous navigation based on "product" is completely different, it obtains economic benefits according to service

Network navigation system to replace the autonomous navigation technology is a historical necessity. Network navigators System has been developing since 1996 from Japan.

The most famous VICS system is to provide dynamic traffic service network. 4G mobile phone network to provide automotive services network navigation system in Toyota's G-BOOK system; Telematics' system to provide users with rescue and other navigation services in Europe; OnStar Monitoring and rescue systems to provide users with rescue and other navigation services in the United States General Motors. in recent years, China began to develop the LBS location service which has past in a variety of navigation business experiments from China mobile and China-Unicom wireless public network, such as "mobile phone map" and other systems.



**Rotor position identification of brushless DC-Motors**

Stepanov V.Y.

Belarusian National Technical University

A brushless DC-Motor is a system of an adjustable electric drive consisting of an alternating current motor structurally similar to a synchronous machine, a converter and control devices providing switching of the winding circuits of the electric motor depending on the position of the rotor.

Brushed-DC motors use brushes and a commutator that acts as an electromechanical switch to connect the windings in the proper polarity. The mechanical switch can be replaced with electronic switches in BLDC motors with the polarity-reversal timing controlled by an electronic circuit.

Thus, there are four main elements of brushless DC-Motors:

- 1) Electromechanical converter (electric machine);
- 2) The inverter that performs the functions of the switch, connecting and disconnecting the phases of the electric motor from the power according to a certain algorithm;
- 3) The rotor position sensor;
- 4) Inverter, processing signals coming from the rotor position sensor.

We will consider the third element of brushless DC-Motor.

Ordinarily, BLDC motors use Hall-effect devices (HFD) to sense rotor position and control the electronic drive of the motor. Based on the physical position of the Hall sensors, there are two types of output: a 60° phase shift and a 120° phase shift.

Combining these three Hall sensor signals can determine the exact commutation sequence.

Motor with three phases labeled X, Y, and Z, phase power might follow the pattern XY'-YZ'-ZX'-X'Y-Y'Z-Z'X. The labels X, Y, and Z indicate normal current polarity is applied to those phases while X', Y', and Z' means the current polarity is reversed in that phase. X, Y, and Z are mounted on the stator at 120° intervals, while the three phase windings are in a star formation. For every 60° rotation, one of the

Hall sensors changes its state; it takes six steps to complete a whole electrical cycle. In synchronous mode, the phase current switching updates every 60°.

However, what if one of the received sensor signals does not arrive, or does the received signal have an incorrect value? We consider the case one position sensor failure. We use probabilistic approach to recover rotor position signal sensor, based on using previous values of rotor position.

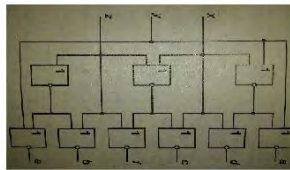
## An approach to position sensor error correction in brushless DC motor

Stepanov V.Y.

Belarusian National Technical University

BLDC find application in wide area of devices –from electric cars to home appliances thanks their reliability and smooth control. There is only one important thing to know about BLDC- to proper control one needs to detect rotor position, which is used to phase commutation.

The rotor position sensor (RPD) is a positional feedback element. DPR is designed to generate signals that carry information about the relative position of the axes of the rotor poles and the axes of the phases of the stator windings of the motor. The DPR signal serves to control of the power switches which connect the phases of the motor to the supply voltage, the way that the motor will produce the maximum torque. The hardware decoder of the sensor is shown in Figure.



Existing controllers, for example Motorola MC 33035 convert data from sensor (channel) and identify rotor position by using logic circuit. Our design is to reconstruct rotor position in case of failure one of the channels.

To simulate the operation of the decoder, a C # program was developed which allows simulating operation of the decoder with the initial data on the rotor position close to true one. The rotor position is chosen in a pseudo-random manner, simulating the situation of the beginning of the rotor position sensor operation when previous data is not available.

Program also has other features, such as:

- 1) data processing similar to real hardware decoder circuits based on OR-NOT logic operations;
- 2) generation of errors at pseudo-random moments of simulation time;
- 3) simulation errors in one or more sensor channels simultaneously;
- 4) storage of previous rotor position values detects by each sensor channel separately;
- 5) two error correction algorithms based on the stored values of the previous rotor position and, if the error was not corrected after applying the first algorithm, using of the second algorithm based on the calculation of necessary rotor position to achieve the required rotation angle at the current control iteration.

**Информационные  
технологии  
и автоматизация**

**Управление тиристорами из цепи анода через источники тока**

Здор Г.Н., Малявко О.И., Тимошевич В.Б.  
Белорусский национальный технический университет

Тиристоры как силовые переключатели и регуляторы утрачивают свою роль по мере развития технологий изготовления мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ) или Isolation gate bipolar transistor (IGBT). Но высокие перегрузочные характеристики тиристоров предполагают еще долгое их использование в мощных электроустановках.

Условия отпирания ряда силовых тиристоров жестко не привязаны к их максимальным параметрам, стандартизованы, минимально предполагают подачу между катодом и управляющим электродом (УЭ) напряжения 10В при токе 1А, что несколько зависит от типа, экземпляра тиристора, его нагрузки и, сильно – от длительности отпирающего импульса. Тиристор открывается и при меньших управляющих токе и напряжении, но это может вызвать локальный перегрев кристалла и его выход из строя из-за отпирания не по всей площади р-п перехода, а лишь в его части. Так что ток и напряжение спрямления должны иметь значения не менее заданных. Однако мощность управления (~10Вт) вызывает дополнительный нагрев кристалла, а управление тиристором после отпирания нецелесообразно.

При катодном способе подачи управляющих сигналов на тиристоры устройства управления (УУ) формируют мощные, гальванически развязанные сигналы управления и подают их между УЭ и катодами. Они часто содержат трансформаторы, требуют датчиков состояния тиристоров для блокировки управления после их отпирания. Более интересен анодный способ управления, когда для отпирания тиристора УУ подает часть его анодного напряжения на УЭ. После отпирания тиристора анодное напряжение падает, что прекращает сигнал управления и уменьшает рассеиваемую на управляющей цепи тиристора мощность. Но подача сигнала управления с анода на УЭ через резистор задачу решает плохо: при малом напряжении анод-катод тиристор может не оторваться малым током управления, при большом – перегревается его управляющая цепь. Решением может быть введение в цепь управления тиристором вместо резистора источника тока, выполненного на мощном полевом транзисторе со встроенным каналом, рассчитанном на большие напряжения и токи. Это позволяет надежно отпирать мощные тиристоры. Оптроны с полевыми транзисторами обедненного и обогащенного типа дают возможность реализовать УУ с защитой от случайного включения тиристоров сигналами импульсных наводок и помех путем шунтирования и даже замыкания УЭ и катода.

## **Плавно регулируемый электропривод переменного тока для электродвигателей с фазным ротором**

Фираго Б.И., Лаптенко А.И., Тимошевич В.Б.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время изменение скорости вращения трехфазных двигателей производится с помощью частотных преобразователей со скалярным либо векторным управлением. Наряду с преимуществами им присущи и недостатки: высокая цена, недостаточная надежность применяемых в них как минимум шести силовых транзисторных ключей, неполная ясность заложенных изготовителями алгоритмов управления, а главное, «заточенность» конкретного электропривода под данный тип двигателя, чаще всего с короткозамкнутым ротором, что ограничивает его использование при ремонте и модернизации промышленных кранов. В крановом электроприводе используются чаще всего трехфазные электродвигатели с фазным ротором, регулировка скорости которых осуществляется коммутацией групп резисторов, включенных последовательно с обмотками ротора, с помощью электромеханических либо тиристорных контакторов. Регулировка обычно 3-5 ступенчатая и предусматривает использование трех силовых тиристоров на ступень. Снизить их количество, а значит, цену можно путем использования электропривода с асинхронно-вентильным каскадом, который требует шести тиристоров и сложной схемы управления. Другим решением задачи может быть использование всего одной группы резисторов, плавное изменение эффективного сопротивления которых достигается путем широтно-импульсной коммутации одного либо двух последовательно включенных транзисторных ключей. Два ключа в одном модуле позволяют уменьшить цену и увеличить надежность электропривода, так как при остановленном роторе напряжение на резисторах максимально и распределяется на ключах, ток через них не течет. При трогании с места коммутируется первый ключ, ток через который ограничивается двумя резисторами. При достижении заданной скорости первый ключ будет постоянно открыт, и для ее увеличения нужно открывать второй ключ, параллельный одному из резисторов, однако напряжение на ключе мало, и он может коммутировать большие токи. При этом режимы ключей не покинут области безопасной работы, а излучаемые радиопомехи снизятся. Система автоматического регулирования может поддерживать постоянную скорость, анализируя величину и частоту напряжения и тока ротора и вычисляя требуемое воздействие. Такой способ регулирования вносит минимальные искажения в кривую напряжения питающей сети.

**Лабораторный стенд координатно-измерительной машины**

Жуков А.С., Сиротин Ф.Л.

Белорусский национальный технический университет

Данный лабораторный стенд, разработан с целью приобретения студентами базовых понятий о контрольно-измерительной машине (КИМ). Основной задачей данного стенда является изучение принципа работы КИМ. Лабораторный стенд так же предоставляет возможность ознакомиться с датчиками, используемыми в стенде, с программируемым логическим контроллером (ПЛК) Siemens LOGO!, изучить схему базового блока стенда, а также схему подключения датчиков и двигателя к ПЛК, специально разработанную и созданную плату для включения.

При создании стенда были использованы следующие элементы: преобразователь положения индуктивный щелевой 6-3 (ПИЩ), индикатор контакта БВ-4271, концевые выключатели, ПЛК Siemens LOGO! 0BA8, двигатель постоянного тока (ДПТ), источник питания 0-15V.

После подключения питания при нажатии пусковой кнопки происходит запуск двигателя и движение каретки с индикатором контакта с помощью винтовой пары. В процессе движения на входы ПЛК подаются импульсы, которые отображаются на дисплее контроллера, кроме того отображается весь пройденный путь кареткой в мм и путь в одну сторону. При касании щупа индикатора торца патрона подается сигнал на ПЛК, контроллер включает реверс двигателя, и каретка движется в обратном направлении до начального концевика. При поступлении сигнала от него происходит останов. При нажатии кнопки останова происходит обнуление регистров пройденного пути и количества импульсов. После этого в патрон помещается измеряемая деталь и после этого происходит 2-й запуск с помощью пусковой кнопки. В данном случае щуп индикатора касается измеряемой детали и возвращается обратно. После проведения данных опытов студенты рассчитывают длину измеряемой детали и погрешность измерения. Кроме того, для принудительного реверса достаточно 2 раза нажать пусковую кнопку, также в случае несрабатывания индикатора контакта имеется конечный концевик для возврата в начальное положение.

Для программирования ПЛК можно пользоваться его пультом управления либо заносить программу с ПК, на котором установлен пакет программирования LOGO! SoftComfort. Выбор способа программирования зависит от уровня подготовки студентов, выполняющих лабораторную работу. В результате работы со стендом студенты получают базовые знания работы с КИМ.

## **Автоматизированные информационные системы управления персоналом**

Белая О.В., Пинчук О.С., Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет

Функционирование любой системы управления связано с циркулирующей в ней информацией. Любой процесс управления – это, прежде всего, информационный процесс, предусматривающий выполнение функций сбора, передачи, обработки, анализа информации и принятия соответствующих решений.

Задача учета наличия и движения кадров занимает ведущее место в системе управления. С появлением первых средств автоматизации были разработаны и первые программы учета и управления персоналом, число которых как в Беларуси, так и в других странах мира исчисляется сейчас сотнями. С появлением новых, более совершенных, аппаратных и инструментальных средств, данные программы модифицировались и расширяли свою функциональность.

Комплексные системы управления персоналом используются для автоматизации кадровой работы на любом предприятии. В первую очередь, такие системы необходимы руководству для получения оперативной информации по любому вопросу, связанному со структурой предприятия, штатным расписанием, вакансиями и информацией о сотрудниках. Оперативно принять правильное решение сможет лишь руководитель, способный быстро оценить сложившуюся ситуацию на основе анализа актуальной информации о состоянии дел на предприятии.

Задачей автоматизации учета наличия и движения кадров является получение информации, которая позволяет осуществлять контроль и анализ приема работников на работу, перемещение их на другую должность или в другое подразделение, увольнение работников и сопоставления этих сведений с плановыми данными о количестве персонала с целью осуществление контроля за соблюдением установленной численностью работников.

Целесообразность автоматизации труда работника отдела кадров по учету кадров на компьютере определяется прежде всего сокращением затрат времени на обработку информации, повышением качества учета, контролем наличия и движения кадров, повышением оперативности получения исходных данных, а также организация комплексной системы автоматизированной обработки информации работников отдела кадров и бухгалтерии организации.

## **Инструмент тестирования производительности Apache Jmeter**

Околов А.Р., Мордасова Е.В., Цедик Н.П.  
Белорусский национальный технический университет

Тестирование производительности программы - тестирование, которое проводится с целью определения, как быстро работает вычислительная система или её часть под определённой нагрузкой, а также тестирование, которое проверяет и подтверждает другие атрибуты качества системы, такие как масштабируемость, надёжность и потребление ресурсов.

Особое внимание при организации эффективного процесса тестирования производительности уделяют выбору инструментов.

Инженер по тестированию использует инструмент тестирования производительности для генерации нагрузки на систему, записывает с его помощью тестовые сценарии, имитируя наиболее вероятные сценарии поведения пользователя, а также анализирует полученные результаты, строит отчеты, графики, формирует рекомендации по дальнейшей оптимизации системы.

Apache Jmeter — инструмент тестирования производительности от компании Apache Software Foundation, который используется как средство тестирования web-приложений, а также для проведения нагрузочных тестов для FT, SOAP, JMS, POP3, IMAP, HTTP и TCP соединений.

В инструменте реализована возможность создания большого количества запросов с помощью нескольких компьютеров при управлении этим процессом с одного из них. Организовано логирование результатов теста и разнообразная визуализация результатов в виде гистограмм, диаграмм, таблиц, отчетов.

Для создания сценариев тестирования в инструменте Jmeter используется рекордер, работающий по технологии Record & Playback.

Суть технологии заключается в том, что сценарии тестирования создаются на основе работы пользователя с тестируемым приложением. Инструмент перехватывает и записывает действия пользователя, результат каждого действия также запоминается и служит эталоном для последующих проверок.

При тестировании инструмент автоматически воспроизводит ранее записанные действия и сравнивает их результаты с эталонными.

Основное достоинство этого подхода – простота освоения. Создавать тесты с помощью инструментов, реализующих данный подход, могут даже начинающие специалисты или специалисты, не имеющие навыков программирования.



**Система обработки организационно-распорядительных документов  
в структурных подразделениях банка**

Пинчук О.С., Белая О.В., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет

Вопрос о необходимости автоматизации управления документооборотом давно перешел в практическую плоскость, и все больше белорусских предприятий внедряют у себя системы электронного документооборота.

Жесткая конкуренция сделала для банков актуальной оптимизацию внутренней деятельности с целью повышения эффективности работы. Это достигается за счет внедрения систем электронного документооборота (СЭД), хранения информации и автоматизации бизнес-задач.

Организационно-распорядительные документы банка делятся на 3 группы: организационные, распорядительные, справочно-информационные.

В выборе системы электронного документооборота банки в РБ руководствуются общей стратегией развития, целями, наличием конкурентной среды, желаемой структурой и ожидаемым экономическим эффектом от внедрения такого решения. К целям внедрения СЭД можно отнести улучшение контроля исполнительской дисциплины, сокращение числа потерянных документов; сокращение времени согласования; уменьшение количества ошибок в работе с типовыми документами. Есть ряд ключевых требований к функциям СЭД. От соответствия системы этим требованиям зависит дальнейший успех оптимизации документооборота банка. Процессы согласования документов и назначение задач выполняются быстрее, когда переведены из «бумажного» в электронный вид, также сокращается время на обработку документов и поручений, и появляется возможность отслеживать ход работы с документом. Важно, чтобы права доступа к защищенным данным были разграничены. Значительно сокращает время работы и автоматическое заполнение разделов типовых документов по существующим справочным данным. Руководителю важно иметь удобные средства контроля сроков исполнения задач и сводную отчетность.

Особенности системы: возможность формирования отчетности по документам, исполнителям; быстрое внедрение; простота развития; возможность использования программного обеспечения для решения дополнительных задач.

## **Структурно-параметрическая оптимизация дифференциатора инвариантности котельного регулятора мощности**

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

Для стабилизации нагрузки котельного регулятора мощности (КРМ), при постоянном значении задания системы автоматического регулирования мощности энергоблока (САУМБ) и вибрации одного из регулирующих клапанов турбины, предусмотрен дифференциатор инвариантности на вход которого подается сигнал по давлению перегретого пара перед турбиной, а выход подключен к входу КРМ.

При переменном давлении пара перед турбиной энергоблок работает в режиме скользящего давления в диапазоне от 70 до 30 % номинальной мощности. При этом с уменьшением нагрузки энергоблока давление перегретого пара также уменьшается, а регулирующие клапаны турбины стабилизируются на заданном уровне. Условие инвариантности КРМ в режиме скользящего давления: передаточная функция по мощности энергоблока при возмущении регулируемыми клапанами турбины равна произведению передаточной функции дифференциатора инвариантности на разность передаточной функции по давлению перегретого пара при возмущении регулируемыми клапанами турбины для замкнутой системы и той же передаточной функции для разомкнутой системы.

В типовой САУМБ устройство инвариантности реализовано реальным дифференцирующим звеном с двумя параметрами динамической настройки:  $K_d$  – коэффициент передачи,  $T_d$  – время дифференцирования.

При постоянном давлении перегретого пара энергоблок работает в диапазоне от 100 до 70 % номинальной мощности. Уменьшение уровня нагрузки энергоблока осуществляется за счет прикрытия части регулирующих клапанов турбины. В этом режиме передаточная функция устройства инвариантности КРМ равна отношению передаточной функции по мощности энергоблока при возмущении регулируемыми клапанами турбины к передаточной функции по давлению перегретого пара при возмущении регулируемыми клапанами турбины. В режиме постоянного давления пара, по сравнению с режимом скользящего давления, время дифференцирования дифференциатора увеличивается в 1,8 раза, а коэффициент передачи – в 12,2 раза. Для сохранения устойчивости САУМБ необходимо корректировать параметры динамической настройки дифференциатора инвариантности КРМ в функции от нагрузки энергоблока по нелинейным зависимостям.

**Пределные возможности типовой системы автоматического управления мощностью энергоблока**

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

Для оценки предельных возможностей типовой системы автоматического управления мощностью энергоблока (САУМБ), система преобразована к структуре, в которой разомкнутая по контуру котельного регулятора мощности (КРМ) система представляет собой два включенных параллельно канала котельного и турбинного регуляторов.

Переходная характеристика канала котельного регулятора, независимо от типа и параметров настройки КРМ, может быть представлена передаточной функцией идеального интегрирующего звена.

Установлено, что определяющее влияние на форму переходной характеристики канала турбинного регулятора оказывает значение коэффициента передачи  $\alpha$  динамического преобразователя ошибки регулирования котельного регулятора на вход задающего устройства турбинного регулятора. Обосновано расчётами и проверено моделированием, что, выбирая небольшие значения параметра  $\alpha$ , можно аппроксимировать переходную характеристику канала турбинного регулятора с достаточной степенью точности инерционным звеном первого порядка, а при больших значениях  $\alpha$  – инерционно-дифференцирующим звеном.

Формы графиков переходных процессов в САУМБ при отработке скачка задания по мощности мало зависят от типа и параметров динамической настройки котельного и турбинного регуляторов мощности. Следовательно, при выборе параметров настройки КРМ и ТРМ можно ограничиться только учетом допустимых величин регулирующих воздействий. Принципиальное влияние на форму графиков переходных процессов при отработке скачка задания по мощности оказывает значение параметра  $\alpha$  динамического преобразователя. На начальном этапе переходного процесса (разомкнутая САУМБ представлена передаточными функциями каналов КРМ и ТРМ) оба графика имеют хорошую преемственность по мощности, но практически одинаковое и чрезмерно затянутое время регулирования. Кроме этого, во втором варианте, график изменения мощности имеет характерный «провал» на второй стадии начального этапа переходного процесса. Для существенного улучшения «заполняемости» графиков набора мощности на начальном этапе переходных процессов необходима модернизация структуры САУМБ.

Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р., Лившиц Ю.Е.  
Белорусский национальный технический университет

Программное обеспечение для имитационного моделирования (ИМ) производственных систем можно разделить на следующие группы: языки ИМ общего назначения, предметно-ориентированные языки ИМ, специализированные пакеты ИМ. В докладе освещаются следующие тенденции в развитии программных систем ИМ:

1. Создание гибридных систем, выполняющих помимо функций собственно моделирования также функции экспертной системы, планирования эксперимента, оптимизации (RAO-Studio).

2. Создание комбинированных систем, сочетающих несколько парадигм и методологических подходов ИМ (Arena, AweSim, Extend). Пакет AnyLogic позволяет использовать любую из четырех парадигм ИМ по отдельности или в сочетании, в явном виде или в агентной интерпретации.

3. Привлечение технологии искусственного интеллекта (экспертные системы, нейронные сети, генетические алгоритмы, эволюционные стратегии).

4. Применение объектно-ориентированного подхода (SIMULA, MODSIM III, SIMPLE++, AnyLogic).

5. Возможность обмена (импорта-экспорта) с другими приложениями (универсальные системы программирования, электронные таблицы и СУБД, САД-системы, системы компьютерной математики).

6. Интеграция в имитационные системы специализированных пакетов оптимизации, таких, как OptQuest или аналогичных (Arena, SIMUL8, AnyLogic, Taylor ED, AutoMod, WITNESS, ProModel).

7. Полный или частичный отказ от кодирования с переходом на графическое программирование.

8. Возможность автоматической генерации моделей прямо из CASE-диаграмм UML, AllFusion, Rational Rose, ARIS.

9. Автоматическая визуализация и анимация, включая 3D.

10. Возможность использования непосредственно в производственном процессе для поддержки принятия решений в режиме реального времени.

11. Реализация в концепции e-Manufacturing («Simulation + Virtual Reality» – виртуальное производство). Так в системах фирм DELMIA и Tecnomatix используются ИМ EM-Plant и QUEST соответственно.

**Дисперсии результатов различных методов имитационного  
моделирования производственных систем**

Новичихина Е.Р., Новичихин Р.В.  
Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования являются механообрабатывающие производственные системы (ПС) в виде автоматизированных участков и линий. Областью исследования является прогнозирование показателей функционирования ПС с помощью имитационного моделирования.

Целью исследования является оценка влияния принятого способа имитации ПС на дисперсию результатов модели. Такая оценка необходима для выбора самого простого (менее трудоемкого) способа моделирования для заданной точности.

Имитационная модель для одной и той же ПС и задачи может быть реализована по-разному. Различия могут касаться как способа представления самой ПС, так и способа (парадигмы) имитации. В работе рассматриваются следующие способы представления ПС в рамках дискретно-событийной парадигмы:

- баланс «работы-ресурсы»;
- стохастическая сеть технологических маршрутов;
- модифицированная сеть Петри с управлением;
- смешанное разомкнуто-замкнутое обслуживание;
- события (алгоритм диспетчирования);
- потоки в рабочих позициях;
- состояния рабочих позиций;
- стадии и декомпозиция операционной партии.

Для модели каждого вида проводился имитационный эксперимент и выведены регрессионные зависимости коэффициента использования оборудования от различных факторов. Оценивалось среднее значение, коэффициент вариации и степень отклонения закона распределения от нормального (коэффициенты асимметрии и эксцесса).

Учитывались следующие факторы: анализируемый период работы; количество рабочих позиций; плановая загрузка оборудования работой; средний размер партии запуска; время обработки; номинальные времена простоя по различным причинам; коэффициент относительного смещения минимального значения случайных величин от нуля.

В результате исследования сформулированы рекомендации по выбору способа моделирования, целесообразного для различных задач и условий.

## Методики оценки рисков

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Абсолютная безопасность информационной системы не может быть достигнута никакими средствами. Всегда остается вероятность появления уязвимостей и проведения атак.

Мерой опасности атак является возможный ущерб. Ущерб – это негативное влияние на систему проведенной атакой. В качестве ущерба рассматриваются не столько потери на восстановление системы, сколько бизнес-потери, которые в результате нарушений понесло предприятие.

Вероятностная оценка величины возможного ущерба, который может понести предприятие в результате успешно проведенной атаки называется риском. Чем более уязвимой является существующая система безопасности, тем выше вероятность реализации атаки и, следовательно, тем выше значение риска.

Управление рисками – это системный анализ угроз, прогнозирование и оценка их последствий для предприятия и выбор контрмер, направленных на уменьшение возможного негативного воздействия нарушений на деятельность предприятия. Управление рисками обязательно включает оценку рисков. Существуют различные методики оценки рисков. Один из простейших методов состоит в умножении возможной величины потенциального ущерба на вероятность возникновения атаки. Чем больше полученное число, тем больше угроза системе.

Еще один способ оценки риска был предложен компанией Microsoft. Он получил название DREAD-методика — по первым буквам английских названий следующих категорий:

- 1) Потенциальный ущерб (Damage potential) — мера ущерба от успешной атаки.
- 2) Воспроизводимость (Reproducibility) — мера возможности реализации атаки.
- 3) Подверженность взлому (Exploitability) — мера усилий и квалификации, необходимых для атаки.
- 4) Круг пользователей, попадающих под удар (Affected users) — доля пользователей, работа которых нарушается из-за успешной атаки.
- 5) Вероятность обнаружения (Discoverability).

Суммарная DREAD-оценка равна арифметическому среднему всех оценок. После вычисления риска всех опасностей их сортируют в порядке убывания оценки, начиная с наибольшей.

## **Обзор белорусских криптографических стандартов**

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Знание стандартов и спецификаций важно для специалистов в области информационной безопасности по целому ряду причин: 1) необходимость следования некоторым криптографическим стандартам закреплена законодательно; 2) стандарты регулируют требования к программным и аппаратным средствам, методики оценки и сертификации систем; 3) стандарты и спецификации - одна из форм накопления знаний, в них зафиксированы апробированные, высококачественные решения, разработанные наиболее квалифицированными специалистами; 4) стандарты и спецификации являются основным средством обеспечения взаимной совместимости аппаратно-программных систем и их компонентов.

Количество стандартов и спецификаций в области информационной безопасности велико. Существуют международные стандарты, стандарты отдельных фирм, стандарты комитетов и объединений, национальные стандарты. В Республике Беларусь разработаны и утверждены свои государственные стандарты в области информационной безопасности. Официальные редакции стандартов можно найти на сайте [www.tnra.by](http://www.tnra.by).

Одним из важнейших является стандарт СТБ 34.101.27-2011 «Информационные технологии и безопасность. Требования безопасности к программным средствам криптографической защиты информации». Данный стандарт устанавливает общие требования безопасности к программным средствам, которые используются для криптографической защиты информации ограниченного распространения. Стандарт предназначен для использования заказчиками, разработчиками, а также экспертами при оценке надежности программных средств криптографической защиты.

Стандарт СТБ 34.101.31-2011 «Информационные технологии. Защита информации. Криптографические алгоритмы шифрования и контроля целостности» определяет семейство криптографических алгоритмов симметричного шифрования, которые используются для защиты информации при ее хранении, передаче и обработке.

Введены в действие стандарты электронной цифровой подписи, алгоритмов генерации псевдослучайных чисел, протокола защиты транспортного уровня (TLS), протокола формирования общего ключа на основе эллиптических кривых, алгоритма хэширования.

## Реализация искусственной нейронной сети на примере управления виртуальными футболистами

Яцынович С.В., Попова Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет

Искусственная нейронная сеть (ИНС) - это математическая модель, а также ее программная или аппаратная реализация, построенная по принципу организации и функционирования биологической нейронной сети, т. е. сети нервных клеток живого организма. ИНС не программируется в привычном смысле этого слова, она обучается. Возможность обучения является одновременно и главным преимуществом ИНС, и главной ее сложностью перед традиционными алгоритмами. Технически обучение нейронной сети заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. Рассмотрим возможность построения легко масштабируемой и обучаемой нейронной сети в зависимости от окружающего мира. Обучим нейронную сеть управлять виртуальными футболистами для компьютерной игры двух команд, состоящих из трех игроков в каждой.

Основная задача нейронной будем заключаться в управлении действиями футболистов одной из команд, например:

- изменение скорости движения футболиста, в зависимости от его местоположения относительно мяча и членов команды;
- изменение направления движения футболиста в зависимости от мяча и членов команды;
- если футболист находится за мячом относительно своих ворот, он должен изменить свое направления и двигаться по дуге, максимально близко огибая мяч, но так, чтобы не забить мяч в свои ворота;
- если другие игроки своей команды находятся ближе к мячу, то игрок, управляемый нейронной сетью, должен выдвинуться ближе к воротам для получения паса или перехвата;
- если игрок находится ближе всего к своим воротам и максимально удаленно от мяча, он осуществляет роль вратаря. При приближении мяча к игроку, он должен выбить мяч или пойти за ним.

В результате программной реализации в 80% случаев нейронная сеть принимала правильное решение, опираясь на окружающий мир. В 60% случаев, когда мяч оказывался за спинами игроков, ИНС не выдала оптимальные траектории движения футболистам для обхода мяча по окружности. В 20% случаев нейронная сеть забивала себе, что связано с ориентацией игроков на мяч, даже когда они находились на уровне мяча или за ним.



## Критерии поисковой оптимизации сайтов

Олесинский А.В., Попова Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет

Поисковая оптимизация — это комплекс мер по улучшению взаимодействия сайта с поисковыми системами. В качестве критериев поисковой оптимизации рассмотрим следующие:

1. Повышение позиций сайта в поисковых системах по определенным запросам:

$$f(x) = \frac{D\{k_1, k_2, \dots, k_i\}, \text{ где } k_i < N}{M} * 100\%, \quad (1)$$

где  $D$  – множество продвигаемых запросов,  $N$  – целевая позиция запроса,  $M$  – общее число продвигаемых запросов.

2. Повышение количества конверсий, т.е. целевых действий пользователей:

$$f(x) = \frac{D}{N} * 100\%, \quad (2)$$

где  $N$  – количество посетителей сайта,  $D$  – количество пользователей, выполнивших целевое действие.

3. Повышение количества пользователей сайта:

$$f(x) = \frac{N}{Z} * 100\%, \quad (3)$$

где  $N$  – общее количество посетителей сайта,  $Z$  – возможное количество пользователей.

Для решения задачи поисковой оптимизации сайта необходимо сначала определиться с критерием оптимизации. Например, для информационных ресурсов таким критерием будет количество пользователей, для коммерческих ресурсов – конверсии. Критерий повышения позиций в поисковых системах подойдет для любых сайтов.

Затем необходимо провести анализ сайта и его базовую оптимизацию, под которой понимается комплекс работ, выполняемый, как правило, один раз согласно следующим действиям: составление структуры сайта (расположения страниц на сайте); составление семантического ядра, т.е. запросов, по которым пользователь будет искать оптимизируемый ресурс; внутренняя оптимизация сайта (решение проблем, препятствующих продвижению ресурса в поисковых системах); техническая оптимизация сайта (исправление ошибок скриптов, препятствующих правильной работе ресурса). Следует добавить, что для оптимизации крупных сайтов необходимо проводить дополнительные маркетинговые работы.

## Диплом. Диплом должен быть?

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Для повышения уровня подготовки выпускников технического ВУЗа, в частности, инженеров-программистов, качества выполняемых ими дипломных проектов, представляется необходимым учесть положительный мировой опыт в сфере образования, повысив гибкость последнего.

Для чего:

- предоставить возможность обучающимся без проблем переходить с отдельных специальностей гуманитарного профиля в технические и наоборот. Для этого, например, в учебные планы специальностей математического профиля включить блок с усредненной и непрерывной подготовкой,

- сделать расписание по предметам одинаковых блоков для студентов дневной и заочной форм обучения единой для всех вузов,

- само обучение должно быть блочным, а завершение изучения каждого блока должно подтверждаться документом.

Это позволит отдельным студентам (особенно платникам) обучению согласовывать со своими финансовыми возможностями и требованием работодателя. При освоении всех блоков, предусмотренных учебным планом, студент может получить диплом.

Разумеется, желательно предусмотреть отбор самых достойных на бюджетную форму обучения не только на этапе зачисления, но и с учетом последующей их успеваемости, предусмотрев перевод с бюджетной формы обучения на внебюджетную и наоборот по итогам текущей успеваемости. Заслуживает внимания и такой подход, когда зачисляются студенты на первый курс по аттестату и результатам собеседования. На последующих курсах отбирают наиболее достойных, с таким расчетом, чтобы по окончании процесса обучения, выйти на план выпуска, необходимый потребностям государства. Это касается бюджетной формы обучения. Студентам-платникам для получения диплома необходимо установить нижнюю границу среднего балла.

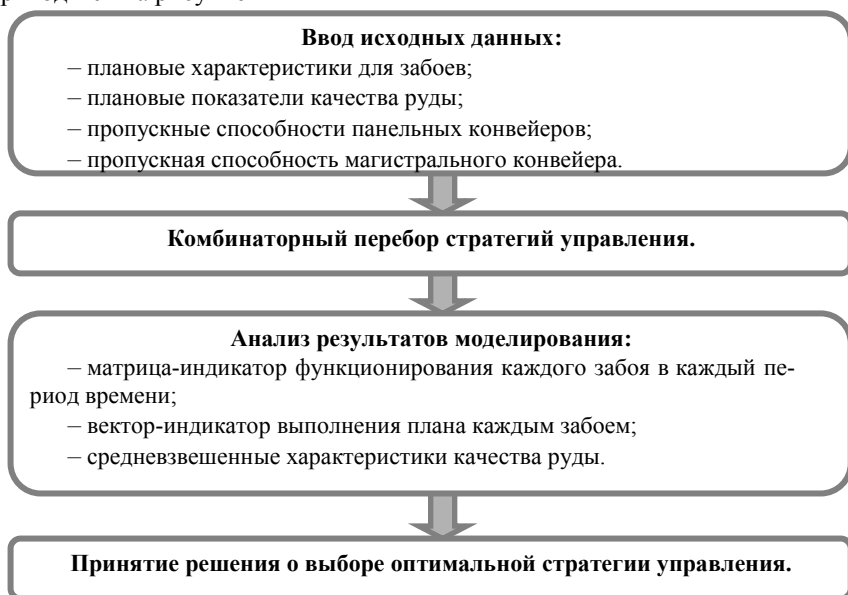
Все эти мероприятия будут хороши при условии адаптации учебных планов к требованиям конкретных работодателей. Например, блок «Дисциплины Совета вуза» можно заменить на блок «Дисциплины-инновации». В этом случае ВУЗ будет вынужден подвергнуть анализу потребности рынка труда своих выпускников.

## Компьютерное моделирование трафика руды для конвейерных линий горнодобывающего предприятия

Крук Ю.С., Гец А.К., Остапук М.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача поиска оптимальной стратегии управления добычным комплексом с точки зрения минимизации расхождения планового и получаемого качества руды. Для решения поставленной задачи проводится компьютерное моделирование процесса стабилизации качества руды. На языке *Python* разработана программа, позволяющая осуществить выбор оптимальной стратегии управления. В основу программы положены результаты математического моделирования из [1], в рамках которого оптимизационная задача решалась при помощи алгоритма направленного случайного поиска с самообучением. Основные этапы моделирования приводятся на рисунке



Этапы поиска оптимальной стратегии управления

**Инвариантность стационарного распределения открытой сети с неактивными заявками и несколькими режимами обслуживания**

<sup>1</sup>Крук Ю.С., <sup>2</sup>Летунович Ю.Е.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

В [1] исследуется открытая сеть массового обслуживания, приборы в узлах которой могут функционировать в нескольких режимах. Режимы обслуживания пронумерованы и характеризуют различную степень работоспособности узла. Введение многорежимного обслуживания позволяет моделировать ситуации, когда прибор может частично выходить из строя. Полная потеря работоспособности прибора не рассматривается. Заявки, ожидающие обслуживания в узлах сети, могут становиться на некоторое время неактивными. И в этом смысле можно говорить о «ненадежности» заявок.

Неактивные заявки формируют отдельную очередь и не требуют обслуживания. Поступающие в сеть потоки информационных сигналов позволяют заявкам менять свое состояние: из неактивного состояния переходить в состояние, когда они могут получать обслуживание, и наоборот.

В работе [2] рассматривалась замкнутая сеть с неактивными заявками, для которой доказана инвариантность стационарного распределения вероятностей состояний относительно функционального вида распределения величины работы, требующейся для обслуживания заявки.

В настоящей работе доказывается инвариантность стационарного распределения вероятностей состояний относительно функционального вида распределения величины работы, требующейся для обслуживания заявки, для модели сети массового обслуживания, которая является обобщением модели из работы [2] на случай многорежимного обслуживания.

**Литература**

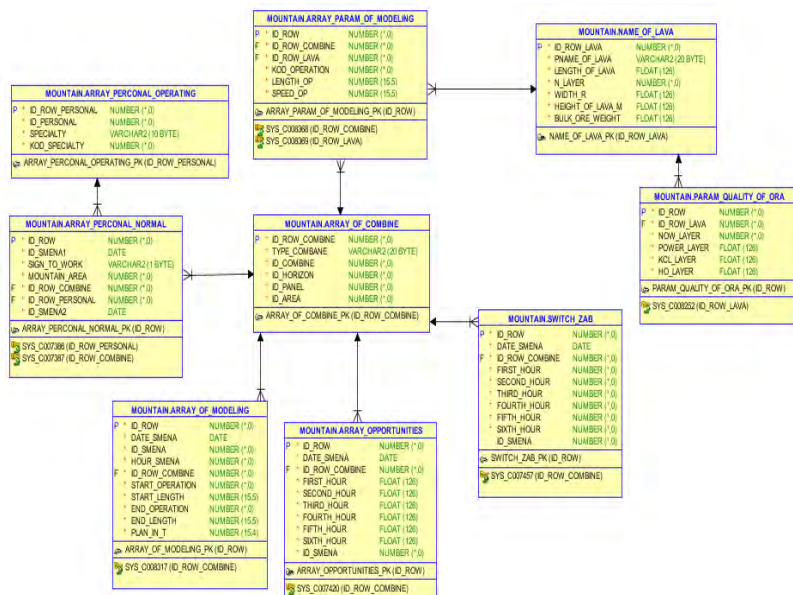
1. Крук Ю. С., Дудовская Ю.Е. Инвариантность стационарного распределения вероятностей состояний открытой сети с неактивными заявками и многорежимными стратегиями обслуживания. Проблемы физики, математики и техники, 2016. – № 4. – Т. 29, С. 59 – 62.

2. Kruk Yu. S., Dudovskaya Yu. Insensitivity of the Stationary Distribution of State Probabilities in an Open Network with Non-active Customers. Autom. Remote Control, 2015. – Vol. 76, pp. 2168–2178.

## Проектирование базы данных для горнодобывающего предприятия в СУБД ORACLE

Крук Ю.С., Гец А.К., Остапук М.И.  
Белорусский национальный технический университет

Рассматривается компьютерное моделирование процесса добычи руды на калийном руднике. В СУБД *Oracle* спроектирована база данных горнодобывающего предприятия (рисунок) и разработано приложение в *Oracle APEX* для хранения параметров моделирования добычи руды.



Диаграмма, отображающая сущности и связи между ними

Перспективной задачей представляется поиск оптимальной стратегии управления добычным комплексом с точки зрения минимизации расхода планового и получаемого качества руды.

### Литература

Гец, А.К. Организация оперативного управления горными работами в условиях калийного рудника п/о «Беларуськалий» / А.К. Гец // Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к. т. н.: (08.00.05) / Моск. Горн. ин-т, – 1978.

**Экспериментальное исследование параллельных алгоритмов  
поиска кратчайших путей на графе в неоднородной  
многопроцессорной системе**

Карасик О.Н., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день в связи с повсеместным распространением многоядерных и многопроцессорных систем все больше прикладных задач решается с использованием многопоточных алгоритмов, позволяющих значительно ускорить выполнение программ за счет распараллеливания вычислений. Основная часть многопоточных алгоритмов рассматривает многоядерную или многопроцессорную систему как логическую абстракцию представляемую операционной системой (логические процессоры и общая память), зачастую не учитывая ряд особенностей аппаратной части, таких как технология Intel Hyper-Threading (когда каждое ядро процессора имеет два потока обработки инструкций –hardware thread), NUMA (когда каждый физический процессор имеет локальную память с высокой скоростью доступа), и т.д. Это зачастую приводит к неэффективному выполнению многопоточного приложения из-за невозможности использования преимуществ и недостатков аппаратной части. Однако, используя информацию об аппаратной архитектуре, многопоточные алгоритмы могут быть адаптированы для обеспечения оптимальной балансировки вычислительной нагрузки между логическими процессорами с учетом их неоднородности и оптимального распределения данных в памяти, с учетом распределения данных между потоками выполнения, а также для организации минимального обмена данными между потоками, исполняющимися на разных процессорах.

Данное исследование направлено на улучшение, модификацию и разработку многопоточных алгоритмов для решения задачи поиска всех кратчайших путей в графе с использованием метода Флойда-Уоршелла для их эффективного выполнения на неоднородных многоядерных и многопроцессорных системах. Метод Флойда-Уоршелла характеризуется интенсивной работой с памятью, многоуровневыми зависимостями между данными, а также неравномерностью вычислительной нагрузки. Существующие алгоритмы рассчитаны на выполнения на однородной многоядерной системе и зачастую выполняются недостаточно эффективно на неоднородной системе из-за невозможности адаптироваться и использовать особенности неоднородной аппаратной архитектуры, что делает поставленную выше задачу актуальной для исследования.

**Оптимизация состава групп программистов по профессиональной квалификации эволюционным методом**

Прихожий А.А., Ждановский А.М.

Белорусский национальный технический университет

Анализ данных о популярности языков программирования, полученных компанией RedMonk [1], и данных о рейтинге языков, полученных компанией IEEE Spectrum [2], привел к выбору основных технологий и инструментов с указанием их рейтинга, а также к установлению необходимости обязательного владения технологиями и инструментами группой разработчиков.

Опрос программистов о степени владения этими инструментами и технологиями позволяет оценить профессиональную квалификацию всей группы в зависимости от входящих в нее разработчиков. Это, в свою очередь, является базой для оптимизации состава программистских групп эволюционным методом. Пусть  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$  – множество программистов,  $G = \{g_1, \dots, g_k\}$  – множество групп программистов и  $Tech = \{tc_1, \dots, tc_m\}$  – множество технологий программирования.

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 (функцию полезности разбиения программистов из множества  $P$  по группам из множества  $G$ ) определим как сумму квалификаций всех групп:

$$F = \sum_{g \in G} qualification(g).$$

**Литература**

1. RedMonk [Электронный ресурс] / сайт аналитической компании RedMonk. – Режим доступа: <http://redmonk.com/sograde/> 2016/07/20/language-rankings-6-16/. – Дата доступа: 26.02.2017.
2. Cass, S. The 2016 Top Programming Languages [Электронный ресурс] / IEEE Spectrum, 2016. – Режим доступа: <http://spectrum.ieee.org/computing/software/the-2016-top-programming-languages>. – Дата доступа: 26.02.2017.

## Модель принятия решения в условиях антагонистических интересов

Борисова И.М

Белорусский национальный технический университет

Если принятие решения зависит от нескольких участников, то, как правило, неизбежен конфликт, так как крайне редко все участвующие имеют одинаковые цели и интересы. В этом случае конфликт понимается как ситуация, которую формируют различные участники, имеющие не совпадающие цели (не обязательно противоположные). Один из способов изучения и анализа таких ситуаций – моделирование в терминах теории игр.

Решение любой матричной игры может быть осуществлено приведением игры к задаче линейного программирования и решением пары двойственных задач.

Наибольшее распространение среди матричных игр получил метод Брауна-Робинсона, который основан на «мыслительном эксперименте», где игроки многократно разыгрывают игру и пытаются выявить те стратегии, которые дают им больший накопленный выигрыш.

Метод Брауна-Робинсон – это итеративная процедура построения последовательности пар смешанных стратегий игроков, сходящейся к решению матричной игры. В 1-й партии оба игрока выбирают произвольную чистую стратегию. Пусть сыграно  $k$  партий, причем выбор стратегии в каждой партии запоминается. В  $(k + 1)$ -й партии каждый игрок выбирает ту чистую стратегию, которая максимизирует его ожидаемый выигрыш, если противник играет в соответствии с эмпирическим вероятностным распределением, сформировавшимся за  $k$  партий. Оценивается интервал для цены игры и, если он достаточно мал, процесс останавливается. Полученные при этом вероятностные распределения определяют смешанные стратегии игроков.

Достоинства метода Брауна состоит в том, что метод ориентирован на произвольную игру, легко реализуем программными методами. Недостатки метода Брауна: скорость сходимости метода быстро уменьшается с ростом размерности матрицы игры.

Теоретическая возможность применять игровые модели имеется для любой ситуации с несколькими участниками. Совершенствование современных компьютеров позволило существенно расширить область применения моделей и моделирования. Они используются практически везде.



**Автоматизация контроля выполнения задачи на построение отрезков, заданных в полярной системе координат в Solid Works**

Полозков Ю.В., Борейко А.Д.

Белорусский национальный технический университет

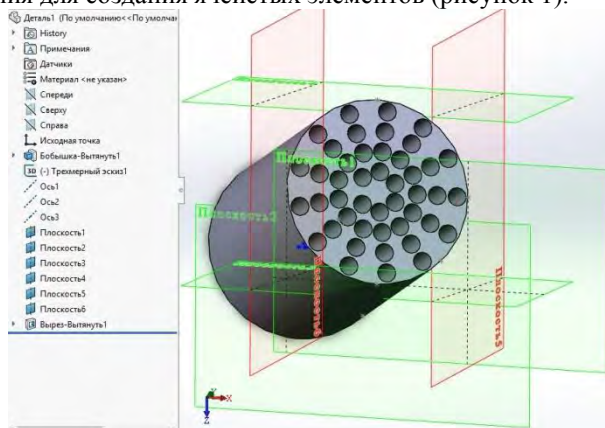
Для автоматизации процесса обучения системе Solid Works был разработан набор алгоритмов для одного из тестовых заданий, используемых для обучения функционалу двумерных построений системы Solid Works. Графически данное задание представляет собой изображение звезды, включающее набор исходящих из одной точки больших и малых отрезков (лучей), вторые концевые точки которых соединяются с отрезками, образующими внешний контур звезды. Данное задание направлено на овладение способом задания отрезков в полярной системе координат и непрерывной обводки. Для автоматизации контроля правильности построений в соответствии с методикой обучения был разработан ряд алгоритмов проверки в заданном списке графических объектов: количества графических объектов; их типов; количества объектов заданной длины; количества объектов с заданным углом наклона; количества совпадающих концевых точек.

Методы, реализующие указанные алгоритмы, имеют однотипную сигнатуру в части принимаемых и передаваемых параметров: код текущей задачи (`DbRepository.Context.Task currentTask`), требуемый параметр правильности решения задачи (`bool isInversed`), исходные параметры для решения задачи (`Dictionary<Task_MethodRef, object> initialParams`), параметры, введенные пользователем (`Dictionary<GraphicKey, object> userParams`), параметры результата решения задачи (`ref Dictionary<Task_MethodRef, object> solveParams`), список комментариев для правильного решения (`ref Dictionary<string, string> commentsTrue`), список комментариев для ложного решения (`ref Dictionary<string, string> commentsFalse`). По сути каждый из указанных методов позволяет контролировать решение определенной части (подзадачи) основной задачи и выводить комментарии для каждого шага ее выполнения. Унификация реализованных методов позволяет их комбинировать для формирования требуемой совокупности алгоритмов и данных для решения различных подобных задач. Это обеспечивает универсальность использования разработанных методов и алгоритмов в автоматизированной системе обучения графическим дисциплинам. Представленные алгоритмы были реализованы с помощью процедур API Solid Works для взаимодействия со средой, в которой осуществляется выполнение задач.

## Алгоритм конструирования ячеек в 3D модели детали с использованием API универсальной CAD системы

Полозков Ю.В., Кункевич Д.П., Новоковский И.А., Климович И.П.  
Белорусский национальный технический университет

В снижении стоимости изделий аддитивного производства важное значение имеет сокращение материалоемкости. В целях сокращения материалоемкости целесообразным оказывается создание множества ячеек в теле детали. Для автоматизации процесса конструирования ячеек предлагается алгоритм, основанный на использовании функций API универсальных CAD систем, в частности, Solid Works. Этот алгоритм реализует процедуры построения плоскостей справочной геометрии на основе анализа данных о геометрических и массо-инерционных характеристиках модели; отрисовки совокупности 2D контуров ячеистых элементов в эскизе, создаваемом с учетом проекции поверхности детали; выполнения операций 3D моделирования для создания ячеистых элементов (рисунок 1).



Пример 3D-модели детали с построенными ячейками

Программные средства, реализованные на основе данного алгоритма, представляют собой базовый инструментарий для автоматизации моделирования ячеистых элементов и структур, параметры которых должны задаваться на основе результатов решения оптимизационных задач по определению типа, количества, взаимного расположения, размеров ячеистых элементов и т.п. С разработкой методик автоматизации решения этих задач связываются дальнейшие исследования.

**Использование инновационных методов и инструментов в обучении студентов специальности ПОИТ**

Яковлев А.В., Рукавишникова И.Д.  
Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники  
Филиал «Минский радиотехнический колледж»

В современном мире требования к качеству работы специалистов постоянно повышаются. Особенно это затрагивает сферу информационных технологий. Требования заказчика растут в связи с конкуренцией на рынке программных продуктов.

Применение новых методов и инструментов обучения стимулирующих познавательную деятельность студентов и позволит повысить качество их подготовки.

Программное средство для обучения студентов взаимодействовать с заказчиком программного продукта. Обучение студентов умению передать свои мысли и идеи опосредовано, грамотно и понятно очень важно. Программное средство разбивает список студентов на две подгруппы случайным образом, у одной из них роль заказчика у другой – разработчика. Заказчику программа генерирует задачу, которую необходимо пояснить разработчику за определенное время, после чего разработчику дается некоторое время для реализации задачи.

Полученный результат заказчик оценивает и выставляет баллы за сходство с изначальными требованиями. Разработчик также выставляет баллы за качество разъяснений. Программа анализирует баллы, исходя из весового коэффициента пункта оценки, и выводит рейтинг участника от 0 до 100.

Входные данные для программы:

- 1) количество участников;
- 2) тематика обсуждения;

Выходные данные:

- 1) рейтинг участника;
- 2) рекомендации.

Применение программного средства студентами, позволит совершенствовать свои навыки взаимодействия, как в роли разработчика, так и в роли заказчика, без участия преподавателя.

## Алгоритм сжатия текста со словарем

Куприянов А.Б.

Белорусский национальный технический университет

Большинство алгоритмов сжатия информации рассматривают текст как простой набор символов не учитывая особенности языка. Если составить словарь различных комбинаций символов текста, закодированного с помощью таблицы ASCII, то количество комбинаций из  $m$  символов будет определяться числом размещений из 255 символов по  $m$ . Количество таких комбинаций будет определяться формулой

$$A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!},$$

где  $n=255$  – количество символов в таблице ASCII.

Число размещений для комбинаций из 5 символов составляет  $1,03 \cdot 10^{12}$ . Значит полный словарь комбинаций будет иметь размер порядка  $S=10^{12}$ . Для нумерации комбинаций потребуется число байт равное  $N=(\log_2 S)/8=5$ . Для замены комбинаций из 5 символов, занимающей 5 байт потребуется число размером 5 байт. Значит никакого сжатия не произойдет.

В русском языке около 500 тысяч слов [1]. «Толковый словарь живого великорусского языка» В. И. Даля насчитывает около 200 тысяч слов. Наиболее употребительными словами, согласно «Частотному словарю русского языка» под редакцией Л. Н. Засориной, являются около 30 тысяч слов, а наибольшую частоту имеют чуть более 6 тысяч слов, покрывающих более 90 % обработанных при составлении этого словаря текстов.

По современным оценкам словарный запас учащегося первого класса школы составляет 2000 слов. Человек с высшим образованием знает порядка 10 тыс. слов, эрудиты – до 50 тыс. слов.

**Следовательно, реальный словарь наиболее употребительных слов русского языка содержит примерно 10 тысяч слов**

Для исследования возможностей сжатия текста при использовании номеров слов из словаря нужно определить

1. Сколько существует слов из  $N$  символов (реальный размер словаря) для различных языков (русский, английский, язык программирования, html-страницы).

2. Какой реальный коэффициент сжатия может обеспечить предложенный метод.

Разработана программа, позволяющая пополнять словарь, сжимать и распаковывать файлы, использование которой даст ответы на оба вышепоставленных вопроса.

**Информационная система «Кафедра»**

Куприянов А.Б.

Белорусский национальный технический университет

Основными исходными документами кафедры по организации учебной работы являются учебные планы. Учебный план разрабатывается для каждой специальности и для каждого вида обучения, поэтому на кафедре, как правило, одновременно используются несколько учебных планов.

На основе учебного плана производится расчет и распределение учебной нагрузки между преподавателями, формируется годовой план работы кафедры и индивидуальные планы преподавателей, создаются учебные программы дисциплин и выписки из дипломов выпускников и другие документы. Информация из учебных планов используется в большинстве документов кафедры как непосредственно, так и в качестве исходных данных для различных расчетов.

Разработка информационной системы на основе базы данных, содержащей информацию об учебных планах кафедры, о студентах и преподавателях, позволит существенно сократить время на формирование кафедральной документации и проведение различных расчетов, связанных с организацией учебной работы.

Разрабатываемая на кафедре ПОВТ БНТУ информационная система «Кафедра» содержит 22 таблицы, содержащие информацию об учебных планах, преподавателях и студентах. Информация об учебных планах размещена в шести связанных таблицах. Основной таблицей является «План учебного процесса», а таблицы «Планы», «Дисциплины», «Кафедры», «Специальности» и «Специализации» являются таблицами-справочниками, связанными с основной таблицей. Такая организация данных позволяет создать форму для заполнения учебных планов, из которой можно переходить в формы таблиц-справочников для их редактирования. Информация о студентах размещается в таблицах «Группы» и «Студенты». Наличие таких связей позволяет выбирать группу, открывать список студентов группы, выбирать конкретного студента и формировать для него выписку из зачетно-экзаменационных ведомостей. Наличие в единой информационной системе учебного плана, информации о студентах и о сотрудниках кафедры позволяет быстро рассчитывать нагрузку преподавателей при закреплении за ними дисциплин, а также формировать раздел «Учебная работа» индивидуальных планов преподавателей, рассчитывать нагрузку по каждой дисциплине и общую учебную нагрузку кафедры.

**Квалификация «инженер-программист» в контексте подхода к разработке программного обеспечения информационных систем**

Бугай О.В., Бухвалова И.А.

Белорусский национальный технический университет

В целом специалист с квалификацией инженер (инженер-механик, инженер-строитель, инженер-теплоэнергетик и т.п.) воплощает идею в проект, являющийся основой для создания реального объекта. Этот подход имеет место и при уточнении квалификации специализацией. Даже в случае разделения инженеров на инженеров –разработчиков, инженеров-монтажников возглавляет этот список создатель проекта, т.е. инженер-разработчик. К сожалению, в сфере программирования ситуация желает быть лучшей. Многие программисты проектирование программного обеспечения считают избыточным занятием и продолжают создавать программы в соответствии с определением Буча Г., Рамбо Д., А. Джекобсона по методу «собачьей конуры».

Упомянутый метод может быть с натяжкой применен разве что при создании небольших программ, но не для комплексной разработки ПО больших информационных систем. Создание таких систем должно предварять обследование целевой деятельности с построением модели бизнес-процесса AS-IS с последующей его реорганизацией в виде модели бизнес-процесса TO-BE Вопросы консалтинга и основы построения моделей бизнес-процессов применительно к разработке информационных систем с использованием структурного системного анализа рассмотрены Г.Н.Каляновым, где в проект автоматизации предприятия включен результат выполнения таких работ как:

- проведение функционального и информационного обследования целевой деятельности,
- разработка структурной функциональной модели деятельности организации,
- разработка информационной модели организации,
- разработка событийной модели организации,
- разработка предложений по автоматизации организации.

В публикациях авторов тезисов раскрыта возможность использования не только программных техник структурного системного анализа, но и объектно-ориентированного анализа и проектирования, а также перечислен инструментарий для их построения.

## Метод расчета параметров при синтезе системы управления электропривода с учетом неопределенности

Несенчук А.А.

Белорусский национальный технический университет

В работе предлагается метод для синтеза робастного управления техническими объектами с неопределенностью, который предоставляет достаточные условия для размещения корней динамической системы в пределах требуемой области  $Q$  комплексной плоскости корней при условии интервальной вариации параметров объекта. Метод основан на теории корневых траекторий. Он может быть использован с целью параметризации дискретных и непрерывных ПИ-регуляторов в системах векторного управления электропривода.

Динамика контуров управления скоростью и магнитным потоком описывается полиномом четвертой степени следующего вида:

$$N_4(s) = s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4. \quad (1)$$

Коэффициенты  $a_i$  (1) действительны и изменяются в интервалах

$$a_j \leq a_j \leq \bar{a}_j, \quad j = \overline{0, 4}. \quad (2)$$

Для обеспечения желаемого качества работы электропривода требуется разместить корни семейства (1) с коэффициентами (2) в пределах области  $Q$ , ограниченной двумя параллельными линиями  $\beta_1$  и  $\beta_2$  равной степени устойчивости:

$$\sigma_{\max} = -10, \quad \sigma_{\min} = -800. \quad (3)$$

С целью решения поставленной задачи используется расширение [1] полинома (1) и соответственно его расширенный годограф [1].

Рассматривается расширенный полином (1) следующего вида:

$$E_4(N_4(s)) = \begin{cases} s + a_1 = 0, & (4.1) \\ s^2 + a_1s + a_2 = 0, & (4.2) \\ s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3 = 0, & (4.3) \\ s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4 = 0. & (4.4) \end{cases} \quad (4)$$

На основе заданных границ (3) области качества  $Q$  и, используя расширенный полином (4), определяются интервалы значений параметров (коэффициентов) (2) полинома (1), обеспечивающие робастную устойчивость и качество системы.

### Литература

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

## Блочная система шифрования RSK

Несенчук А.А., Стухальский А.Л., Романенко Р.А.  
Белорусский национальный технический университет

Цель работы состоит в создании собственной улучшенной криптосистемы. Основными задачами являются: 1) анализ преимуществ и недостатков существующих криптосистем; 2) решение обнаруженных проблем существующих алгоритмов; 3) создание приложения, реализующего разработанную концепцию.

Программа реализована на C++ и C#. Пользовательский интерфейс (рисунок) разработан с помощью фреймворка стандартных компонент. Вариант программы на C++ в разы быстрее чем на C#.



Интерфейс приложения, реализующего алгоритм шифрования RSK

Разработанный алгоритм шифрования имеет пропускную способность 2,5 гигабайта в секунду (Измерения производились на процессоре Intel Core i5-U 2.5 ГГц с ОЗУ DDR3 1600 МГц.), что превосходит AES [1] примерно в 3 раза. Значительный прирост в скорости связан с преобразованием одного выбранного блока, а не набора блоков, которые могут находиться в памяти далеко друг от друга. Повышение криптостойкости связано с использованием нескольких уровней защиты, а не множественного повтора одних и тех же процедур.

### Литература

Hardware AES Showdown [Электронный ресурс] / grantmcwilliams.com. – 6.7.2011 г. – Режим доступа: <http://grantmcwilliams.com/tech/technology/387-hardware-aes-showdown-via-padlock-vs-intel-aes-ni-vs-amd-hexacore>. – Дата доступа: 1.5.2017.



**Оценка эффективности использования рекомендательных систем  
в организации современного образовательного процесса**

<sup>1</sup>Скудняков Ю.А., <sup>2</sup>Мороз В.А., <sup>2</sup>Гурский Н.Н.

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Использование рекомендательных систем в образовании стало значимой частью адаптивного обучения, поскольку такие системы берут на себя выполнение задачи подбора правильного материала в зависимости от текущего состояния пользователя. На основе различных алгоритмов классификации, кластеризации и анализа данных может быть построена персонализированная учебная траектория, которая использует лишь информацию о том, как данный учащийся осваивает материал, и как другие пользователи изучали этот материал до него. В общем случае механизм адаптивного обучения осуществляется по следующему сценарию: рекомендательная система советует пользователю, какой учебный материал ему необходимо освоить следующим, в зависимости от его предыдущих действий. После получения рекомендации, пользователь оставляет свою реакцию по данному материалу, которая содержит информацию, насколько эта рекомендация была «удачной». На основе полученной реакции, обновляются сведения о пользователе, а затем формируется новая рекомендация.

Организация адаптивного учебного процесса может осуществляться с использованием различных методов: 1) построение последовательности обучения (Curriculum sequencing) – для формирования оптимальной индивидуально планируемой последовательности на основе использования модели в виде ориентированного графа с целью освоения изучаемого материала и получения знаний, умений и навыков обучаемым; 2) адаптивное представление информации (Adaptive presentation) – для генерации различных видов изучаемой информации с целью адаптации обучаемого к ее освоению; 3) интеллектуальный анализ решений (Intelligent analysis of student solution) – для осуществления анализа ответов обучаемого с использованием интеллектуальных анализаторов с целью распознавания как правильных, так и неточных, неполных и неправильных ответов; 4) диалоговая поддержка решения задач; 5) адаптивная поддержка в навигации (Adaptive navigation support); 6) решение задач на примерах (Example-based problem solving); 7) адаптивная поддержка сотрудничества (Interactive collaboration support). Применение различных методов адаптации позволяет учитывать ряд факторов, отражающих особенности изучаемого материала и психологические характеристики обучаемого.

Скудняков Ю.А., Хасеневич Б.Б.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

В настоящее время защита информационных потоков в компьютерной сети остается актуальной темой отрасли. Для того, чтобы защитить данные при передаче через публичные незащищенные сети, существует несколько технических решений. Выбор варианта зависит от множества факторов: 1) от бизнес-модели вещателя — ставит ли он задачу продавать доступ; 2) от того, кто отвечает за сохранность контента; 3) выбор зависит от бюджета.

Для решения задачи защиты контента в работе предложен алгоритм, в основе работы которого положен AES – симметричный итеративный блочный алгоритм, базирующийся на принципах новой сети подстановок-перестановок. Данный алгоритм имеет новую архитектуру SQUARE (КВАДРАТ), для которой характерно: 1) представление шифруемого блока в виде двумерного байтового массива; 2) шифрование за один раунд всего блока данных (байт-ориентированная структура); 3) выполнение криптографических преобразований как над отдельными байтами массива, так и над его строками и столбцами. Это обеспечивает диффузию данных одновременно в двух направлениях – по строкам и по столбцам. Архитектура SQUARE присуща, кроме шифра AES(RIJNDAEL), шифрам SQUARE, CRYPTON (один из кандидатов на AES). Второе место в конкурсе AES занял другой SP-шифр, SERPENT. По-видимому, SP-сети и, в частности, архитектура SQUARE, в ближайшем будущем станут безраздельно доминировать.

Общие характеристики AES: 1) AES шифрует и расшифровывает 128-битовые блоки данных; 2) AES позволяет использовать три различных ключа длиной 128, 192 или 256 бит; 3) от размера ключа зависит число раундов шифрования: длина 128 бит – 10 раундов; длина 192 бита – 12 раундов; длина 256 бит – 14 раундов; 4) все раунды, кроме последнего, идентичны. Основным элементом, которым оперирует алгоритм AES, является байт – последовательность 8 бит, обрабатываемых как единое целое. Для формирования байтов 128 битов блока открытого текста, выходного блока шифротекста и ключа шифра делятся на группы из 8 - ми рядом стоящих бит так, чтобы в целом получился массив байт. Безопасность между серверами и сетевым оборудованием обеспечивается за счет шифрования с использованием протокола IPSec. Реализация процесса контроля за корректностью работы системы защиты контента осуществляется с помощью программного средства, разработанного на языке C++.

## Программно-техническое обеспечение распознавания и мониторинга динамических объектов

<sup>1</sup>Довнар С.С., <sup>2</sup>Скудняков Ю.А., <sup>1</sup>Гурский Н.Н.

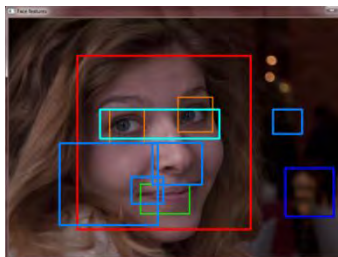
<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

Целью данной работы является разработка программно-технического обеспечения (ПТО) для распознавания и мониторинга динамических объектов с использованием алгоритмов компьютерного зрения.

В процессе выполнения работы было создано программное средство (ПС), которое реализует алгоритм распознавания объекта на сцене и последующего его мониторинга.

Для получения видеоизображения с камеры используется протокол http. Основная часть ПС работает в два (три) потока, количество потоков зависит от того, работает в данный момент мониторинг или нет. В технической части ПТО использовалась камера D-Link DCS-5030L, имеющая 1/4 дюймовый мегапиксельный CMOS-сенсор с технологией прогрессивного сканирования, фокусным расстоянием 2,38 мм и углами обзора 94,36° (по горизонтали), 59,3° (по вертикали).



Определение искомым объектов на изображении

Использование ПС совместно с технической частью (камерой видеонаблюдения (IP-камерой)) разработанного ПТО позволяет осуществлять распознавание со средней точностью до 95% и надежный мониторинг динамических объектов.

### Литература

1. Дэвид Форсайт, Жан Понс. Компьютерное зрение. Современный подход. Издательство Вильямс, 2004. – 928 с.
2. Претт, У. Цифровая обработка изображений. Мир. Москва. 1982.

## Программное обеспечение системы «Умный дом»

Юденков В.С., Стухальский А.Л., Романенко Р.А.  
Белорусский национальный технический университет

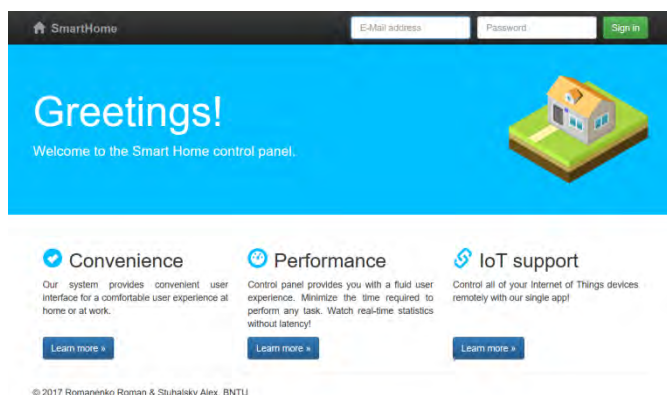
Цель работы состоит в разработке программного обеспечения системы «умный дом». Основными задачами являются: 1) анализ существующих систем; 2) разработка протоколов коммуникации устройств внутри системы; 3) разработка средств визуализации информации, полученной с датчиков.

В качестве канала связи между сервером и датчиками используется протокол TCP/IP. Данные системы передаются на сервер в формате бинарного потока на самом низком уровне для обеспечения максимальной производительности.

Структура циркуляции информации внутри системы может быть описана следующим образом: Датчик(и) → Контроллер → Браузер.

Полученные данные от датчиков кэшируются на сервере. Обновление данных происходит при изменении показаний датчика. Такая модель обмена данными позволяет значительно снизить трафик внутри сети.

Логика сервера, обрабатывающего поступающую информацию, создана в виде аддона для асинхронной платформы Node.js. В качестве базы данных была выбрана не реляционная технология MongoDB. Визуализация данных выполняется с помощью новейших Web-технологий: React, D3.js, Ajax. Вид главной страницы представлен на рисунке.

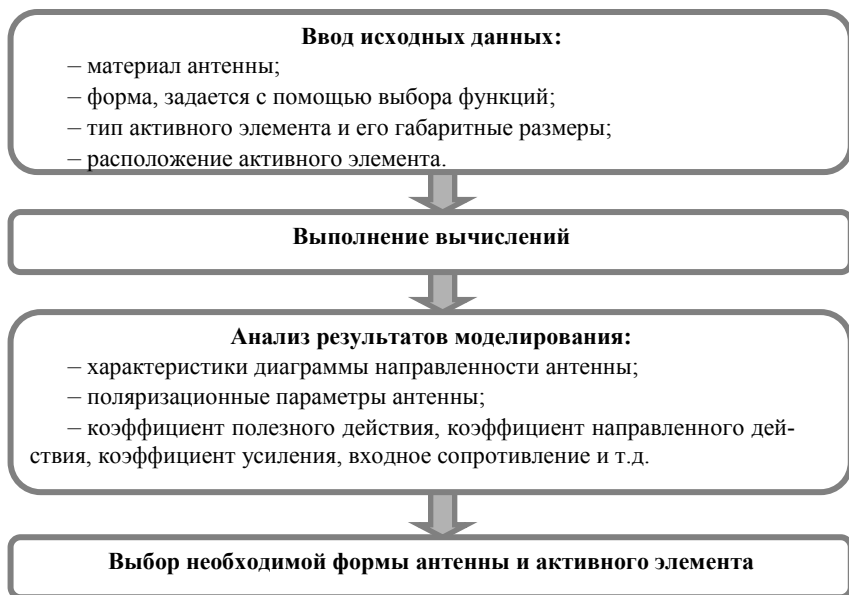


Вид главной страницы.

## Программное средство для проектирования антенно-фидерных устройств

Яковлев А.В., Рукавишникова И.Д.  
«Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники»  
Филиал «Минский радиотехнический колледж»

Рассматривается задача проектирования антенн различных видов и назначения, а именно: штыревые, петлевые, директорные, зеркальные, щелевые, антенные решетки. Для реализации задачи используется несколько математических моделей применяемых при расчете антенн. На языке Java разрабатывается программа, позволяющая по входным данным получить расчетные значения характеристик антенны. В качестве входных данных используется материал антенны, форма, тип активного элемента, его расположение на антенне.



Этапы проектирования антенны

## **Автоматизация процесса сборки приложений**

Аленович А.А., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизация сборки - этап написания скриптов или автоматизация широкого спектра задач, применяемого разработчиками в их повседневной деятельности. Включает в себя такие действия, как: компиляция исходного кода в бинарный код, сборка бинарного кода, выполнение тестов, разворачивание программы на производственной платформе, написание сопроводительной документации или описание изменений новой версии. Благодаря этому улучшается качество продукции, ускоряется процесс компиляции и линковки, обеспечивается избавление от излишних действий, а также избавление от привязки к конкретному человеку. Существуют следующие типы автоматизации сборки: 1) автоматизация по запросу (On-Demand automation): запуск пользователем скрипта в командной строке; 2) запланированная автоматизация (Scheduled automation): непрерывная интеграция, происходящая в виде ночных сборок; 3) условная автоматизация (Triggered automation): непрерывная интеграция, выполняющая сборку при каждом подтверждении изменения кода (commit) в системе управления версиями.

Непрерывная интеграция (CI, англ. Continuous Integration) — это практика разработки программного обеспечения, которая заключается в слиянии рабочих копий в общую основную ветвь разработки несколько раз в день и выполнении частых автоматизированных сборок проекта для скорейшего выявления и решения интеграционных проблем. Переход к непрерывной интеграции позволяет снизить трудоёмкость интеграции и сделать её более предсказуемой за счет наиболее раннего обнаружения и устранения ошибок и противоречий [1]. Непрерывная интеграция является одним из основных приёмов экстремального программирования. Для применения непрерывной интеграции к проекту необходимо, чтобы исходный код и всё, что требуется для сборки и тестирования проекта, хранилось в репозитории системы управления версиями. Операции копирования из репозитория, сборки и тестирования всего проекта автоматизированы и легко вызываются из внешней программы. Благодаря этому проблемы интеграции выявляются и исправляются.

### **Литература**

Хамбл, Д. Непрерывное развертывание ПО. Автоматизация процессов сборки, тестирования и внедрения новых версий программ - Вильямс, 2016. – 432с.

**Система планирования распределенного решения задач**

Бокшиц Е.А., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Для оптимизации процесса конвертации видео файла из формата *.avi* в формат *.mp4* предлагается следующее решение, реализованное с помощью алгоритма оптимального назначения задач на процессоры и основанное на распределении фрагментов конвертируемого видео файла по рабочим машинам. Распределение учитывает время конвертации фрагмента на рабочих машинах, время передачи данных по сети между рабочими машинами и главным сервером. Пусть  $V = \{t_1, \dots, t_k\}$  – множество фрагментов видео файла. Топологию сети рабочих машин представим неориентированным графом  $G_L = (P, L)$ , где  $P = \{p_1 \dots p_n\}$  – множество машин;  $L$  – множество каналов передачи данных. Видеофрагмент  $t_i$  из множества  $V_i$  может быть сконвертирован на любой из  $n$  машин. Матрица  $A$  размерностью  $m \times n$  определяет время конвертации каждого из  $m$  фрагментов на каждой из  $n$  машин. Элемент  $A_{ip}$  есть время конвертирования фрагмента  $t_i$  на рабочей машине  $p$ . Загрузка одной машины определяется суммой времен конвертации всех фрагментов, назначенных на данную машину. Время, затрачиваемое наиболее загруженной машиной, рассматривается как время параллельной распределенной конвертации всего видео файла. Оптимальное назначение  $m$  конвертируемых фрагментов на  $n$  рабочих машинах ставит целью минимизировать время работы наиболее загруженной машины. Загрузка рабочей машины  $p \in P$  определяется как:

$$load_x(p) = \sum_{i=1}^m (A_{ip} \times X_{ip}).$$

Чтобы найти машину с максимальной загрузкой, определяющей общее время  $Time_x$  конвертации, необходимо рассчитать загрузку каждой из  $n$  машин для искомой матрицы  $X$  назначения фрагментов на машины:

$$Time_x = \max_{p \in P} (load_x(p)).$$

Множество всех значений матрицы  $X$  есть пространство поиска, в котором ищется оптимальное решение. Оптимальное назначение по всем возможным значениям  $X$  дает глобальный минимум времени конвертации:

$$\min Time = \min_{X \in \Omega} (Time_x).$$

Разработано программное обеспечение, реализующее предложенный алгоритм планирования распределенного решения задачи конвертации.

## **Анализ функционирования web-приложений**

Жуковский В.В., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Веб-аналитика (англ. Web analytics) - система измерения, сбора, анализа, представления и интерпретации информации о посетителях веб-сайтов с целью их улучшения и оптимизации. Основной задачей веб-аналитики является мониторинг посещаемости веб-сайтов, на основании данных которого определяется аудитория сайта и изучается поведение посетителей для принятия решений по развитию и расширению функциональных возможностей веб-ресурса [1]. Веб-аналитика позволяет не только работать над улучшением сайтов, но и проводить работы по оптимизации бюджета на онлайн-продвижение. Существуют следующие методы веб-аналитики: 1) анализ посещаемости сайта: статистика, тенденции, абсолютные и относительные показатели; 2) анализ данных из электронной торговли: средний чек, популярные товары, доход в разрезе каналов привлечения трафика; 3) анализ юзабилити: анализ плотности щелчков, конверсионных путей посетителей по сайту, анализ скроллинга;

4) анализ поведения посетителей на странице: взаимодействие с формами, совершение микро и макро конверсий; 5) бенчмаркинг: сравнение с общими тенденциями и с конкурентами с помощью независимых платформ. Статистика посещаемости разделов и веб-страниц сайта позволяет понять: количество просмотренных веб-страниц; ключевые слова и фразы, по которым посетители находят сайт в поисковых системах; географию посетителей; время, проведенное на веб-странице посетителем; переходы между веб-страницами; аудиторию сайта (случайные, постоянные посетители).

Собирать статистику можно с помощью счетчиков (внешних программ). Для получения статистики на веб-страницы сайта устанавливается небольшой фрагмент кода (размером 1-2 килобайт). Счетчики засчитывают открытие страницы только после ее загрузки. Счетчики в настоящий момент являются стандартом веб-аналитики. Также собрать статистику можно с помощью лог-анализатора - внутренние программы, собирающие накопленные сервером данные. Лог-анализаторы позволяют собирать статистику ничего не меняя на сайте. Веб-сервер самостоятельно создает лог-файлы и сохраняет их на сервере.

### **Литература**

Брайан Клифтон. Google Analytics для профессионалов, 3-е издание - М.: «Диалектика», 2012. - 608 с.



Лаптенко Е.Г., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространенными сценариями репликации являются: простая репликация с разрешением только для чтения реплик; репликация к мобильному клиенту и от него; разрешение множественных обновлений. В первом сценарии используется концепция трёхзвенной серверной архитектуры: центральный сервер - серверы рабочих групп - клиент. При репликации только по чтению данные вводятся на каждом сервере рабочих групп, а затем реплицируются на центральный сервер (консолидируются). Варианты сценария: 1) данные вводятся на центральный сервер, а серверы рабочих групп хранят реплики; 2) данные вводятся на один из серверов рабочих групп и копируются на другие сервера и центральный сервер. При репликации к мобильному клиенту, запрашиваемые данные сбрасываются с локального сервера, что обеспечивает кэширование актуальных данных на стороне клиента. Из-за возможности изменения одних данных на разных узлах распределенной базы данных, реализация множественных обновлений является сложным и трудоёмким процессом при разработке систем с репликацией. Архитектура с множественным обновлением на нескольких равноправных узлах влечет конфликты одновременного изменения данных. Алгоритмы разрешения конфликтов: 1) задание уникальных приоритетов серверов; 2) использование временных меток; 3) метод разделение данных. На количество конфликтов репликации существенно влияет порядок автоматической генерации ключей. При создании данных для одной таблицы на нескольких серверах уникальность реплицированных строк гарантируется путем: 1) установления разных диапазонов генераторов ключей для каждого сервера; 2) добавления идентификатора сервера в качестве составной части первичного ключа; 3) чтения всех реплицированных в разные таблицы данных через представление с объединением; 4) использования псевдостолбца, идентифицирующего базу данных-источник для работы с ключами-дубликатами. Множественные обновления, при всей сложности реализации, позволяют наиболее полно использовать потенциал распределённых баз данных.

#### **Литература**

Гаршин, И.К. Практика работы с Oracle: генерация, администрирование, репликация / И.К. Гаршин // Издательство «ПОЛТЕКС», – М, 2000, – 250 с.

**Использование муравьиного алгоритма для оптимизации планирования выполнения задач на GRID системах**

Фролов О.М., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективное планирование потока задач с целью их исполнения на GRID системе принадлежит классу NP-полных проблем. В силу отсутствия на сегодняшний день эффективного решения данного класса проблем, для ускорения поиска планов исполнения поступивших задач, пусть даже субоптимальных, целесообразно воспользоваться эвристическими алгоритмами оптимизации, например, муравьиным алгоритмом (ACO) [1] в основе которого лежит поведение муравьиной колонии – маркировка более удачных путей большим количеством феромона.

Работа начинается с размещения муравьев в вершинах графа, затем начинается движение муравьев, а направление движения определяется вероятностным методом на основании формулы вида:

$$P_i = \frac{l_i^q f_i^q}{\sum_k l_k^q f_k^q} \quad (1)$$

где  $P_i$  - вероятность перехода по пути  $i$ ,

$l_i$  - величина, обратная весу (длине) перехода  $i$ ,

$f_i$  - количество феромона на переходе  $i$ ,

$q$  - величина, определяющая “жадность” алгоритма,

$p$  - величина, определяющая “стадность” алгоритма.

Муравьиный алгоритм успешно справляется с планированием, когда ресурсы гетерогенной системы исчерпаны, а поток новых задач, поступающих на исполнение, не уменьшается [2].

**Литература**

1. Selvi, V., Umarani, Dr.R.: Comparative Analysis of Ant Colony and Particle Swarm Optimization techniques. Int.J. Comput. Appl. (0975-8887), 5(4), 2010.
2. Merkle, D. and Middendorf, M. Swarm intelligence. In “Search Methodologies – Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques”, chapter 8, E.K. Burke and G. Kendall, editors. Springer Science + Business Media Inc., 2005, pp. 401-435.

## Построение одностраничного приложения для встраиваемых систем

Щербаков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Задачи, решаемые современными встраиваемыми системами, требуют наличия расширенной подсистемы ввода и отображения информации. Одним из вариантов реализации такой подсистемы является добавление в проектируемое устройство цветного дисплея. Однако, для уменьшения себестоимости, а также габаритов проектируемого устройства, применяемые дисплеи часто имеют малые размеры и низкое разрешение, что не позволяет комфортно для пользователя выполнять задачи управления встраиваемой системой.

Подход, позволяющий либо полностью отказаться от использования во встраиваемой системе графического дисплея, либо позволяющий назначить ему вспомогательные функции отображения данных заключается в добавлении Web-интерфейса, когда информация предоставляется в окне браузера. Такой подход требует наличия сетевого интерфейса Ethernet во встраиваемой системе, что реализуется без дополнительных существенных затрат, благодаря наличию в современных микроконтроллерах, построенных на ядре ARM Cortex-M, аппаратного интерфейса MII.

Использование браузера в качестве подсистемы управления устройством, построенным на микроконтроллере, требует построения Web-интерфейса, реализованного по архитектуре одностраничного приложения (SPA). Такой подход увеличивает комфорт работы пользователя и минимизирует нагрузку на микроконтроллер, оставляя больше вычислительных ресурсов на задачи управления. Объем флеш памяти микроконтроллеров с ядром ARM Cortex-M, на которых часто строятся встраиваемые системы, составляет не более 1МБайта, поэтому возникают специфические требования по объему кода одностраничного приложения.

Использование стандартной разметки HTML5 приводит к значительному объему кода, особенно при отображении многострочных таблиц с обновляемыми данными. Для минимизации объема кода одностраничного приложения можно использовать подход, при котором повторяющиеся элементы страницы (строки таблицы, элементы управления) генерируются в коде на языке TypeScript с использованием DOM модели, а описание страниц хранится в виде JSON объектов.

Использование языка TypeScript позволяет получить при разработке преимущества типизированного языка программирования, а также генери-

ровать JavaScript код, соответствующий стандарту ECMAScript 5. Как показал опыт, такой подход дает достаточную гибкость при необходимости модификации интерфейса и дает объем кода, позволяющий хранить одностраничное приложение во флешь памяти микроконтроллера.

УДК 004.94

### **Компьютерная модель манипулятора строительного назначения**

Гурский Н.Н., Скачек В.А., Скачек А.В.  
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время широкое распространение получила новая технология создания отдельных деталей и законченных изделий из этих деталей, называемая аддитивной технологией. Для производства таких изделий используются 3D-принтеры. В основу работы 3D-принтера положен принцип послойного нанесения расходного материала на бумагу, пленку или другой носитель. Возможность послойно создавать реальный объект по имеющемуся виртуальному объемному проекту, востребована во многих сферах. За достаточно короткий промежуток времени, прошедший с момента появления первых 3D-принтеров, люди научились печатать посуду, одежду, игрушки, расходные материалы для принтеров и сами принтеры, машины, и даже человеческие органы и ткани. Развитием технологии 3D-печати является строительная отрасль – это печать строительных конструкций и жилых домов.

Строительство сегодня считается одним из наиболее перспективных областей применения такого вида оборудования. Модели строительных принтеров – это большие конструкции, которые спроектированы с учетом принципов работы строительных кранов.

В работе рассматривается программная реализация функционирования двухзвенного механизма, моделирующего процесс виртуального строительства дома по аддитивной технологии послойного нанесения смеси на создаваемые стеновые конструкции.

Особое внимание уделяется моделированию электрических приводов на базе шаговых двигателей, двигателей постоянного и переменного токов, синтезу параметров регуляторов.

Рассматривается также аппаратная реализация макетного образца 3D-принтера на платформе Arduino.

**Подход к классификации ячеек и ячеистых структур  
для использования в проектировании легковесных деталей**

Полозков Ю.В., Климович И.П.

Белорусский национальный технический университет

Одно из преимуществ аддитивных технологий заключается в возможности изготовления легковесных деталей. В этих деталях, в отличие от монолитных, получаемых с помощью традиционных технологий, создаются полые области (ячейки), расположенные либо внутри материала деталей, либо на их поверхности. Создание ячеек позволяет, прежде всего, сокращать материалоемкость, а также изменять технико-эксплуатационные свойства деталей. Поэтому вопросы разработки новых методов и средств автоматизации проектирования деталей с ячейками и ячеистыми структурами являются актуальными. Для автоматизации процедур конструирования ячеек, с учетом принципов объектно-ориентированного программирования, проводится анализ методов формоописания и систематизации ячеек и структур, которые они могут образовывать. В ходе проведенных исследований установлено, что наиболее значительные результаты в этой области достигнуты в кристаллографии, минералогии и физике твёрдого тела. Так, в процессах моделирования кристаллов используются три основные сущности: непосредственно ячейка, кристаллографическая система (сингония) и кристаллическая решетка. Ключевыми признаками описания и классификации видов элементарных ячеек являются количество и расположение вершин (узлов), соотношения между длинами ребер, соединяющих вершины, и углы между гранями. На основе конфигурации элементарной ячейки описываются различные кристаллографические системы. Эти системы используются в качестве базиса для описания кристаллических решеток, представляющих собой массивы транслированных в пространстве ячеек.

Данный подход обеспечивает универсальность в описании и классификации ячеек и ячеистых структур. В этой связи логичным представляется использование этого подхода и используемых признаков, в качестве основы для классификации ячеек и ячеистых структур, которые могут применяться для создания легковесных деталей. В данном случае, расширение такой классификационной системы возможно за счет устранения ограничений, обусловленных физическими принципами кристаллообразования, добавления в модель описания ячейки понятия «отсек поверхности» и соответствующих признаков формализации, а также учета методов CAD моделирования поверхностей.

**Имитационная модель электропривода с комбинированным ПИД регулятором положения**

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

Оценка качества динамических показателей регулируемого электропривода в настоящее время производится на основании имитационного моделирования с использованием различных специализированных программных продуктов. В данной работе рассматривается разработка имитационной модели в среде Simulink электропривода опорно-поворотной платформы с целью изучения особенностей работы регулятора положения применительно к реальному контроллеру PMAC Tuning Pro фирмы DeltaTAU. Разрабатываемая модель содержит объект управления, состоящий из силового трехфазного преобразователя, вентильного двигателя номинальной мощностью 170Вт, передаточного механизма и дискретное управляющее устройство, включающее генератор заданных значений (ускорение, скорость, координата) движения по траектории, пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор тока и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор положения. Особенности объекта управления являются: 1) передаточный механизм нелинейный с наличием двух люфтов; 2) вентильный двигатель имеет малые постоянные времени ( $T_e=40\text{мкс}$ ,  $T_m=4\text{мс}$ ), что накладывает ограничение на быстродействие системы; 3) отсутствует датчик скорости ротора двигателя; 4) абсолютный кодовый датчик положения расположен на конечном объекте. Регулятор тока представляет собой классический ПИ-регулятор с насыщением, задающее воздействие на который подается с комбинированного ПИД-регулятора положения через Notch-фильтр. Задающими воздействиями для регулятора положения являются координата, а также скорость и ускорение, которые подаются с коэффициентами  $K_v$  и  $K_a$  соответственно. Обратная связь по координате подается от абсолютного кодового датчика, на основании которой методом цифрового дифференцирования вычисляются текущая скорость и ускорение с коэффициентами  $K_d$  и  $K_{dd}$  соответственно. Регулятор имеет общий коэффициент усиления  $K_p$ .

На основании полученных динамических показателей и их анализа были получены следующие выводы: 1) разработанная имитационная модель является адекватной; 2) для исключения значительных пульсаций фазного тока двигателя частота ШИМ должна быть не менее 20 кГц; 3) для исключения существенных погрешностей при вычислениях период дискретизации системы не должен быть более 80 мкс.

**К вопросу расчета потерь мощности в частотно-регулируемом асинхронном электродвигателе**

Фираго Б.И., Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

Для оценки энергетических показателей и проверки асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором по нагреву, работающего в частотно-регулируемом электроприводе с изменяющейся циклической нагрузкой, необходимо определять средние потери мощности за цикл. В векторных и скалярных системах преобладает частотное управление АД при стабилизации потокосцепления (статора, ротора или взаимоиндукции).

В этом случае потери в стали статора принимают пропорциональными относительной частоте изменения напряжения  $\alpha$  в степени 1,5, а механические потери – пропорциональными квадрату относительной скорости ротора  $v$ . Потери от протекания намагничивающего тока, определяющего потокосцепление, будут неизменными; обычно равными номинальным. Переменные потери мощности от протекания тока нагрузки по обмоткам статора и ротора, будут пропорциональны квадрату относительного электромагнитного момента  $\mu$ . Постоянными величинами, т.е. коэффициентами, на которые умножаются соответственно переменные  $\alpha^{1,5}$ ,  $v^2$  и  $\mu^2$ , являются номинальные потери в стали статора  $\Delta P_{ст.1,ном}$ , механические номинальные потери  $\Delta P_{мх,ном}$ , суммарные номинальные переменные потери в статоре и роторе  $\Delta P_{пер,ном}$ .

Циклический режим работы электропривода включает временные интервалы переходных процессов, где переменные  $\alpha$ ,  $v$  и  $\mu$  зависят от времени  $t$ , и участки установившегося режима, где  $\alpha$ ,  $v$  и  $\mu$  будут неизменными, соответствующими статической нагрузке и скорости на данном участке. Средние потери за цикл определяют как частное от деления суммарных потерь энергии в АД за цикл на расчетное время цикла  $t_{ц}$ . Если АД имеет независимое охлаждение, то расчетное время цикла равно фактическому времени.

При использовании самовентиляции с понижением скорости будет ухудшаться охлаждение двигателя. Это ухудшение охлаждения учитывают коэффициентами, которые являются функцией относительной скорости ротора  $v$  и будут меньше 1. Коэффициенты ухудшения охлаждения  $\beta_{ох,i}$  рассчитываются на каждом временном интервале  $t_i$  скоростной диаграммы электропривода. Расчетное время цикла  $t_{расч,ц}$  определяют как сумму  $\beta_{ох,i}t_i$  за период работы. Очевидно, что  $t_{расч,ц} < t_{ц}$ , и средние потери за цикл будут большими.

Расчет потерь энергии, идущей на нагрев АД, выполняют двумя способами: методом конечных сумм  $\Delta P_i t_i$  на каждом  $i$ -ом интервале за цикл и непосредственным вычислением по программе интегралов  $\int [\alpha(t)]^{1,5} dt$ ,  $\int [v(t)]^2 dt$ ,  $\int [\mu(t)]^2 dt$ , которые умножаются на свои коэффициенты. В настоящее время второй способ имеет большее распространение.

УДК 004.89:728

### **Программное обеспечение для поиска и анализа аномалий в загрузочных областях диска**

Велесик А.Т., Разорёнов Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Под аномалией в загрузочной области диска подразумевается вредоносный код, внедрённый в загрузочный код Master Boot Record или Volume Boot Record. Вредоносные программы, заражающие загрузочный код MBR или VBR носят название «bootkit» (от англ. boot – загрузка и kit – набор инструментов).

В ходе исследования были изучены основные особенности вредоносных программ типа bootkit, проанализировано поведение основных их представителей, проведен анализ до и после заражения загрузочных областей диска вредоносной программой, определены механизмы, с помощью которых вредоносные программы типа bootkit внедряются в загрузочные области диска, а также изучены стандартные средства защиты от вредоносных программ типа bootkit.

По результатам исследования был сделан вывод, что стандартных средств защиты от вредоносных программ типа bootkit недостаточно и необходимо разработать программное обеспечение, которое позволяет определять заражён диск или нет.

Было разработано программное обеспечение для поиска и анализа аномалий в загрузочных областях диска, которое выполняет следующие функции: эмулирует загрузочный код выбранного физического диска и, на основании полученных данных при его эмуляции, делает заключение о наличии аномалий в загрузочных областях этого диска.



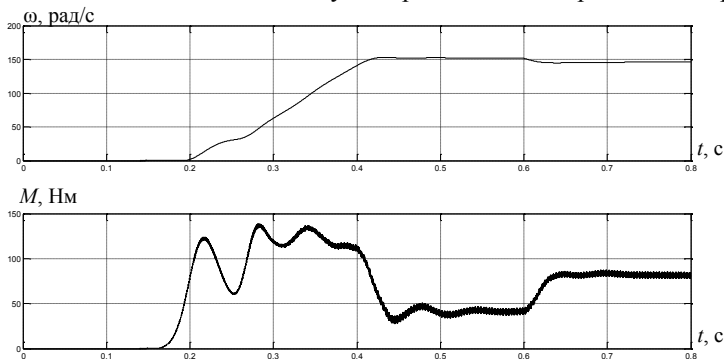
## Моделирование работы автономного инвертора напряжения при питании от аккумулятора через повышающий преобразователь постоянного напряжения

Миронович А.В., Примшиц П.П.

Белорусский национальный технический университет

Автономные инверторы напряжения (АИН) применяются в настоящее время чаще всего в составе комплектных двухзвенных преобразователей частоты. Однако, в случае наличия источника постоянного напряжения инвертор используется как самостоятельное устройство для получения переменного напряжения регулируемой частоты. Чаще всего нагрузкой АИН является трёхфазный асинхронный двигатель. Большинство асинхронных двигателей рассчитаны на номинальное напряжение на статоре не менее 300 В. Поэтому, если источником энергии является аккумулятор с величиной напряжения 120 В (как, например, в транспортных установках), то требуется устанавливать между аккумулятором и инвертором повышающий преобразователь.

Работа именно такой системы была смоделирована авторами с помощью программы Matlab-Simulink. Графики скорости и электромагнитного момента двигателя мощностью 15 кВт с двумя парами полюсов приведены на рисунке



Диаграммы угловой скорости и электромагнитного момента двигателя при питании от аккумулятора через повышающий преобразователь и автономный инвертор напряжения

Повышающий преобразователь включается в 0,1 с, а в момент времени 0,14 с инвертор начинает формировать синусоидальные кривые напряжения на статоре двигателя с нарастающей частотой и амплитудой. С самого начала действует момент нагрузки 40 Нм, а в момент времени 0,6 с прикладывается ещё 40 Нм.

**Расчет параметров системы электропривода с энкодером**

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Системы управления положением и скоростью электропривода, требующие высокой точности, в качестве датчика положения содержат энкодер, обычно размещаемый на валу электродвигателя. Количество  $N$  импульсов на один оборот является основным параметром энкодера, определяющим точность измерения положения и скорости. Вместе с тем, чем больше  $N$ , тем выше стоимость датчика.

Энкодер преобразует угол поворота вала в унитарный код, поступающий на вход микроконтроллера управления электроприводом в качестве обратной связи по положению. Сигнал скорости получается вычислением производной от сигнала положения. Таким образом, по отношению к величине скорости энкодер является частотно-импульсным модулятором.

Выбор энкодера возможен на основании заданной точности системы управления [1]. Для управления положением это допустимая погрешность, добротность по скорости, а для управления скоростью - статизм и диапазон.

В системе электропривода напряжение на двигателе формируется в виде импульсов. Так, система содержит три импульсных модулятора: микроконтроллер создает амплитудную модуляцию вследствие цикличности расчета управления и широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) для преобразователя, энкодер – частотную модуляцию. Цикл  $T_C$  выполнения программы микроконтроллером обычно синхронизируется с периодом  $T_S$  ШИМ, что важно для динамических показателей системы. Период же  $T_D$  импульсов энкодера переменный, и при низких скоростях  $\omega_{min}$  может значительно превышать остальные два периода. Поэтому при выборе энкодера желательно выполнять проверку условия

$$T = \max(T_C, T_S) \geq T_D = (\omega_{min} \cdot 4N)^{-1}.$$

Если условие выполняется, то расчет цифровых регуляторов с учетом интервала дискретности  $T$  остается корректным, иначе необходимо изменение структуры управления при низких скоростях ввиду увеличения запаздывания в контуре.

**Литература**

Опейко, О. Ф. Выбор параметров устройства управления электроприводов с импульсным датчиком. / Энергетика. Изв. высш. учебных заведений и энергетических объединений СНГ, №2, 2007 . с. 11-17.

## **Повышающий многоуровневый преобразователь частоты**

Улащик Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Использование технологии многоуровневого соединения приводит не только к повышению напряжения относительно номинальных параметров ключей, но и улучшает гармонический состав выходного тока и напряжения. Большое распространение в настоящее время получил следующий вариант структуры построения силовой схемы высоковольтного преобразователя частоты (ВПЧ): низковольтная сеть - низковольтный выпрямитель - многоуровневый повышающий безтрансформаторный инвертор напряжения - высоковольтная машина переменного тока.

Многоуровневый повышающий безтрансформаторный инвертор напряжения может быть представлен состоящим из элементарных ячеек двух видов [1]: ячейки первого вида Я1 состоят из двух пар IGBT-транзисторов и источника постоянного тока; ячейки второго вида Я2 аналогичны первым, но с включением вместо источника постоянного тока - конденсатора, и дополнительным ключом, подсоединяемым параллельно входу ячейки к ключам верхней и нижней пары. Требуемое количество уровней в выходном напряжении образуется последовательным соединением источника питания и необходимого количества предварительно заряженных до напряжения источника питания конденсаторов ячеек Я2 и подключением полученной цепочки к выходным выводам ВПЧ через соответствующие открытые ключи.

Повышающий многоуровневый автономный инвертор напряжения работает в двухтактном режиме цикла «заряд-разряд» конденсаторов на частоте, многократно превышающей частоту выходного напряжения. Конденсаторы переключаются транзисторами схемы с параллельного включения на последовательное. При параллельном соединении они заряжаются от низковольтного источника, а при их последовательном соединении – разряжаются на высоковольтную цепь нагрузки.

Данный инвертор может повышать выходное напряжение по сравнению с входным в  $N-1$  число раз, где  $N$  - число ячеек вида Я2. Предельные значения прикладываемых к ключам инвертора напряжений равны напряжению источника питания, независимо от числа  $N$ .

### **Литература**

Зиновьев Г.С., Лопаткин Н.Н., Скудин Д.В. Многоуровневый повышающий безтрансформаторный инвертор напряжения для высоковольтного электропривода // Электротехника. - 2010. - №3.

**О применяемых в автоматике бесконтактных двигателях  
постоянного тока**

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

В схемах автоматики, требующих высокой надежности работы в тяжелых условиях эксплуатации сравнительно широко применяются бесконтактные *двигатели постоянного тока* (ДПТ), имеющие по устройству *полупроводниковый коммутатор* вместо механического контактного (щетки – коллектор). Эти двигатели обладают всеми положительными свойствами обычных ДПТ и лишены их основного недостатка – не имеют весьма ненадежного щеточно-коллекторного узла.

Бесконтактные ДПТ по устройству состоят обычно из *трех* основных элементов: *бесконтактного двигателя* (с *m*-фазной обмоткой на статоре и ротором в виде постоянного магнита); *датчика положения ротора*, который вырабатывает сигналы управления, определяющие моменты времени и последовательность коммутации обмоток двигателя; *бесконтактного коммутатора*, осуществляющего коммутацию токов в обмотках статора двигателя по сигналам датчика положения ротора.

Коммутация токов в бесконтактном ДПТ, как и в контактном, во многом определяется индуктивностью его обмоток. Для коммутации токов в полупроводниковых коммутаторах применяют транзисторы, работающие в ключевом режиме с временем переключения 3-30 мкс. При этом при размыкании обмоток статора возникают большие перенапряжения на переходе эмиттер – коллектор, которые при значительной индуктивности обмоток могут привести к электрическому пробоею перехода или перегреву транзистора (к выходу его из строя). Поэтому для защиты транзисторов от перенапряжений и перегрева применяют дополнительно специальные схемы.

В автоматике применяются самые разнообразные бесконтактные ДПТ, отличающиеся между собой конструкцией двигателя, датчика положения ротора, схемой коммутатора, компоновкой основных функциональных элементов, характеристиками.

В настоящее время в схемах автоматики применяются бесконтактные ДПТ *с минимально возможным числом обмоток на статоре* (чаще всего с двумя или тремя обмотками), что позволяет уменьшить число чувствительных элементов датчика положения ротора и число транзисторов коммутатора.

## Структура управления частотно-регулируемым электроприводом центробежного насоса в системе водоснабжения

Лю Хэхуэй, Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

В [1] для частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) центробежного насоса в системе водоснабжения с противодавлением  $H_c$  приведены: \*- выражение сложной функции для вычисления статического момента  $M_c$  центробежного насоса при работе с противодавлением  $H_c$ ;

-\* *экономичный закон* частотного управления при регулировании производительности насоса и

-\* *оптимальный закон* пуска электропривода насоса.

В докладе рассмотрена *функциональная схема* для реализации ЧРЭП, учитывающая экономичный закон частотного управления и оптимальный пуск электропривода центробежного насоса. В этой схеме используются: неуправляемый диодный выпрямитель, индуктивно-емкостный фильтр и транзисторный автономный инвертор напряжения с ШИМ. В ЧРЭП насоса применена скалярная система частотного управления по закону  $\Psi_1 = const$ , как в наибольшей степени удовлетворяющая всем требованиям, предъявляемым к электроприводу центробежных насосов. Схема управления ЧРЭП содержит: датчик давления, измеряющий напор в гидросистеме, и датчик тока статора асинхронного двигателя; регуляторы частоты, напряжения и давления; два функциональных преобразователя. Один преобразователь рассчитывает статический момент насоса, а другой – формирует заданное значение ЭДС статора двигателя, обеспечивающее выполнение экономичного закона частотного управления.

На основании функциональной схемы и *линеаризованной схемы управления ЧРЭП насоса при стабилизации напора в гидросистеме* [2] разработана *эмпирическая модель*, которая позволяет проводить исследования динамики рассматриваемого электропривода, а также определять влияние различных параметров системы электропривода на характер протекания переходных процессов.

### Литература

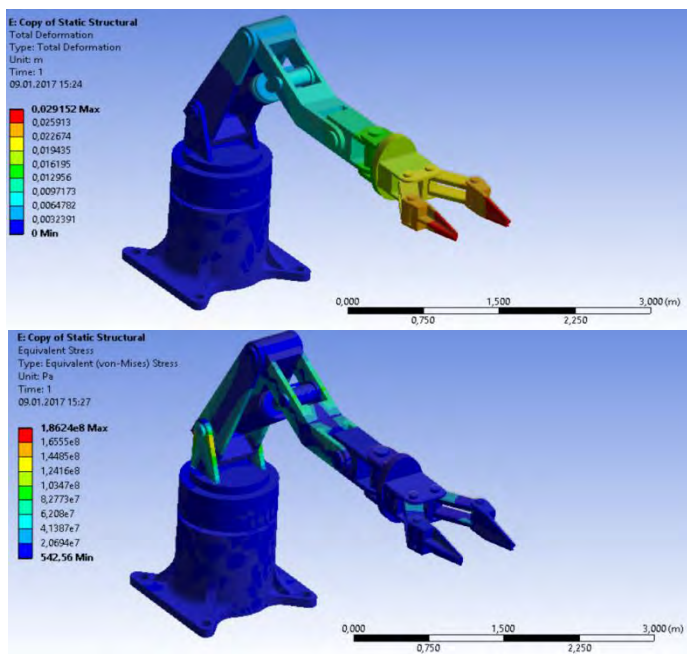
1. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. – М.: Энергия, 1972. - 240 с.
2. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. - Мн.: Техноперспектива, 2006. - 363 с.

УДК 621.3.01

## Конечно-элементная модель конструкции промышленного робота

Обиходов П. А., Напрасников В.В., Боровок О.А., Ермилов В.В.  
Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы было построение модели промышленного робота и проведения анализа напряженно-деформированного состояния конструкции. Результаты представлены на рисунке



Деформированное состояние и картина напряжений

Результаты анализа показали, что максимальное суммарное перемещение составило 0,029 м и максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу равно 186 МПа при весе груза в 30 000 н. Таким образом, можно сделать вывод, что данная конструкция является работоспособной и поскольку максимальное напряжение не превышает допустимого в 250 МПа, то в дальнейшем можно улучшить конструкцию на основе оптимизации.

Данцевич Ю.Н., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Более 150 поставщиков облачных сервисов могут предоставить свои решения посредством облачной платформы «ActivePlatform». Продукт «ActivePlatform» представляет собой программное решение, предназначенное для автоматизации процесса выставления счетов и продажи облачных сервисов. Независимые поставщики, использующие API-интерфейс, могут с минимальными усилиями интегрироваться в «ActivePlatform», делая подключение новых облачных сервисов быстрым и лёгким процессом. Проверка системы API включена в регрессионное тестирование, то есть при выпуске новой версии приложения необходимо полностью проверять ее работоспособность.

Во время тестирования API «ActivePlatform» интересными задачами для тестировщиков являются: 1. Обеспечение тестирования различными параметрами API вызовов таким образом, чтобы проверить функциональность и безопасность. Это включает в себя изучение граничных условий. 2. Создание комбинаций значений параметров для вызовов с двумя или более параметрами. 3. Определение содержания API вызовов. Это может включать создание внешних условий окружающей среды (файлы, периферийные устройства и т. д.), а также внутренних хранимых данных, которые влияют на API. 4. Последовательность API вызовов для проверки функциональности.

Для реализации процесса тестирования API «ActivePlatform» на языке Gherkin был написан текст сценария теста. Gherkin — человеко-читаемый язык для описания поведения системы. При этом описание дается на естественном языке. В части «Features» дается описание примерного поведения теста для дальнейшего понимания того, для чего данный тест был предназначен. В части «Scenarios» описывается ожидаемый результат в сокращенном, формализованном виде, позволяющем в дальнейшем различать тесты. Далее указываются шаги выполнения сценария. Шаги – это основная часть работы Cucumber, именно по ним происходит выполнение действий теста. Cucumber - это программный продукт, позволяющий производить тестирование различного по функционалу и предназначению программного обеспечения. Cucumber запускает автоматические тесты, написание которых было произведено с помощью языка Gherkin. Чтобы реализовать тесты, был написан код на Ruby, который запускается с помощью Cucumber в нужный момент.

**Модель структуры с тетраэдральным пластинчатым наполнителем**

<sup>1</sup>Мартинovich В.В., <sup>1</sup>Напрасников В.В., <sup>2</sup>Соловьев А.Н., <sup>3</sup>Скалиух А.С.

<sup>1</sup>Минск, Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет,

<sup>3</sup>Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

В данной работе рассматривается построение геометрии, анализ напряженно-деформированного состояния наполнителя и выбор его оптимальных параметров. Конструкции с наполнителем при относительно небольшой массе обладают высокими характеристиками прочности и жесткости.

Перспективным подходом к решению этой задачи представляется использование языка APDL, с помощью которого в рамках единого командного файла можно создать параметрическую модель конструкции и сформулировать задачу оптимизации.

Особенностью конечно-элементной модели является необходимость выполнения операции сшивания узлов разнотипных конечных элементов.

На следующих рисунках представлены: деформированное состояние конструкции с наполнителем (рис. 1) и эквивалентные напряжения по теории Мизеса, возникающие в ней при постоянной нагрузке (рис. 2).

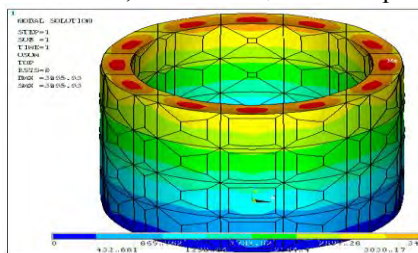


Рис. 1 – Деформированное состояние

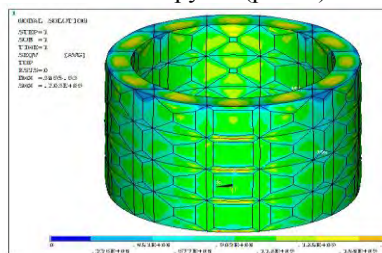


Рис. 2 – Эквивалентные напряжения

Модель позволяет выполнить оптимизацию структуры.

В качестве варьируемых параметров для оптимизационной модели принимаем толщину стенок втулки и толщину плоскостей наполнителя.

Критерием оптимальности является объем материала, который должен быть минимальным. В качестве функционального выступает ограничение на максимальное эквивалентное напряжение, которое не должно превышать предела текучести.



### Особенности программной реализации алгоритма спектрального анализа

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.

Минск, Белорусский национальный технический университет

Для анализа линейных стационарных систем широко используется спектральный метод. Пусть задача анализа формулируется так: на вход динамической системы с комплексной передаточной функцией  $K(j\omega)$  поступает одиночный сигнал  $x(t)$  длительности  $\tau$ ; необходимо найти реакцию системы  $y(t)$ . Тогда решение этой задачи определяется интегралом Фурье

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |X(j\omega)K(j\omega)| \cos(\omega t + \arg(K(j\omega)) + \arg(X(j\omega))) d\omega,$$

где  $X(j\omega)$  – комплексная спектральная плотность сигнала  $x(t)$ .

Аналитическое вычисление интеграла Фурье если и возможно, то лишь для простейших случаев. Поэтому на практике почти всегда используют численные методы, реализованные, например, в программной среде MathCad, которая получила широкое распространение именно за простоту «трансляции» математических выражений.

Для поставленной задачи в качестве верхнего предела интеграла используем значение  $\Omega = 100\pi\tau^{-1}$ , при этом непосредственное вычисление интеграла даже для одного момента времени  $t$  занимает существенное время (около минуты), построение графика в силу этого затруднено. Если же разбить интервал частот  $[0; \Omega]$  на  $N$  равновеликих интервалов длины  $s$  с центрами  $\omega_n$ , то интеграл Фурье можно заменить рядом

$$y(t) \approx \frac{s}{\pi} \sum_{n=1}^N |X_n K_n| \cos(\omega_n t + \arg(K_n) + \arg(X_n)),$$

где  $X_n = X(j\omega_n)$ ,  $K_n = K(j\omega_n)$ . В этом случае значения  $X_n$  вычисляются *один раз* и построение графика  $y(t)$  не вызывает затруднений.

Дополнительно было установлено, что для исследуемых сигналов уже при  $N = 30000$  погрешность замены интеграла рядом составляет около 1,5%, с ростом  $N$  погрешность уменьшается медленно, так при  $N = 100000$  погрешность (0,55–0,65)%.

Мишота А.А., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Как правило, стандартный функционал современных операционных систем предоставляет пользователю возможность поиска требуемой программы или файла по ключевым словам в их названии. При этом большинство специализированных поисковых утилит являются платными. Поэтому разработка приложения, обеспечивающего поиск требуемого контекста по ключевым словам, находящимся не только в названии, но и в самом файле, остается актуальной задачей.

В качестве критерия оценки работы приложения предлагается использовать «время поиска». Параметрами оптимизации являются алгоритм поиска, размеры буферов чтения и записи (в байтах) и количество потоков, ограничениями являются: размеры буферов от 1 до  $n$  байт (где  $n$  – объём доступной оперативной памяти компьютера), количество потоков от 1 до  $2m$  (где  $m$  – количество логических процессоров на компьютере).

Для поиска заданного контекста в наборе данных в приложении может быть использован один из следующих алгоритмов поиска: алгоритм поиска Бойера - Мура, алгоритм Рабина - Карпа, алгоритм Кнута-Морриса-Пратта, алгоритм Чжу - Такаоки и алгоритм «Быстрый поиск».

Алгоритм Бойера – Мура является одним из самых быстрых алгоритмов. Следует, однако, заметить, что его эффективность растет лишь с увеличением длины строки и, соответственно, длины образца.

Так, при длине строки меньшей или равной 10 символов, он показал себя хуже, чем последовательный поиск.

Аналогичные результаты показывает и алгоритм Кнута-Морриса-Пратта, как для коротких, так и для длинных слов.

Его можно использовать как универсальный, когда неизвестны длины строки и образца. Алгоритм Рябина-Карпа, при его схожести с последовательным поиском, работает быстрее, а его простота и малые трудозатраты на реализацию, делают его привлекательным для использования в специальных программах.

Лучший результат показал алгоритм быстрого поиска, который является улучшенной реализацией алгоритма поиска Бойера - Мура.

Приложение разработано на языке C#. В нем реализованы все указанные выше алгоритмы. При этом алгоритм Бойера - Мура используется в приложении «по умолчанию».

## Постановка оптимизационной задачи по выбор рациональных параметров конструкции паллетных виЛ

Бунакова С.В., Напрасникова Ю. В.  
Белорусский национальный технический университет

Целью работы является выбор рациональных параметров для виЛ погрузчика (рисунок). Для достижения данной цели было необходимо решить следующие задачи:

- разработать оптимизационную модель паллетных виЛ;
- выполнить оптимизационные вычисления;
- выбрать оптимальную конструкцию паллетных виЛ.

Исходными данными к проекту послужили следующие параметры:

Вилы изготовлены из Стали 45:

- модуль Юнга  $E=210$  МПа
- плотность  $\rho=786$  кг/м<sup>3</sup>.

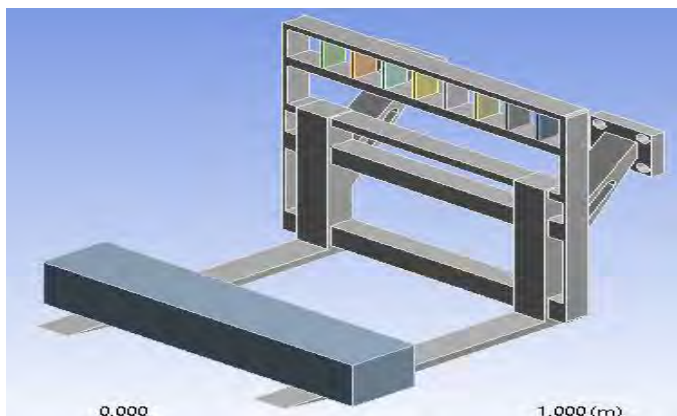
Конструкция испытывает нагрузку от падающего груз массой 314 кг со скоростью 7 м/с в момент соприкосновения.

Критерием для оптимизации послужил следующий параметр:

- масса конструкции (минимизировалась).

Варьируемые параметры модели паллетных виЛ:

- количество перегородок в верхней части виЛ (на начальном этапе 7, варьируется от 6 до 8);
- толщина виЛ (на начальном этапе 35 мм, варьируется от 31 мм до 39 мм).



Модель паллетных виЛ

## Автоматизация распределения нагрузки преподавателей на кафедре в вузе

Карачун А.В., Печковская Д.И., Хвойницкий П.О.  
Белорусский национальный технический университет

Распределение учебной нагрузки между преподавателями является одной из ответственных, сложных, трудоемких и плохо формализуемых задач, решаемых на этапе подготовки учебного процесса в вузе. Эта задача особенно трудоемка, если велико число дисциплин, читаемых на кафедре, а кадровый состав кафедры достаточно многочислен и динамичен. Поэтому разработка системы, которая позволит автоматизировать процесс распределения нагрузки на кафедре, является актуальной проблемой для каждого вуза.

Система включает такие основные части, как:

- информационная модель системы, сформированная на основе данных, предоставляемых деканатом и кафедрой (Рисунок)
- модуль распределения нагрузки преподавателей;
- модуль заполнения индивидуального плана преподавателя.



Структура базы данных

Для создания модулей был использован язык C#, среда разработки Microsoft Visual Studio 2013, а также библиотека для работы с файлами Excel в данной среде – Microsoft.Office.Interop.Excel.

Научный руководитель - Ковалева И.В..

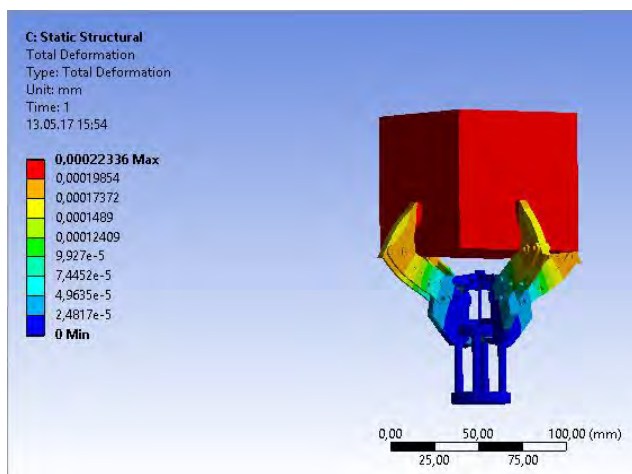
## Моделирование схвата манипулятора

Масло Д.О., Напрасникова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

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.

Целью данной работы было построение модели схвата манипулятора и проведения анализа напряженно-деформированного состояния конструкции (Рисунок ).



Деформированное состояние

Результаты анализа показали, что максимальное суммарное перемещение составило 0,0002 мм и максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу равно 1 МПа при силе тяжести груза в 4 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 модель на основе оптимизации.

**Разработка системы охлаждения на основе тепловых трубок**

Кравченя Ю. В., Кункевич Д. П.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время переход к новым поколениям вычислительных средств приобретает особую актуальность. Непрерывный рост характеристик требует разработки и создания новых средств для поддержки их эффективного функционирования.

Цель данной работы - разработка системы охлаждения серверного процессора. Для достижения поставленной цели была построена геометрическая модель системы воздушного охлаждения (рис. 1) и выполнены термодинамические расчеты. Результаты расчетов показали, что процессор охлаждается недостаточно и необходим дополнительный отвод тепла. Для этого в конструкцию была введена система тепловых трубок (рис. 2).

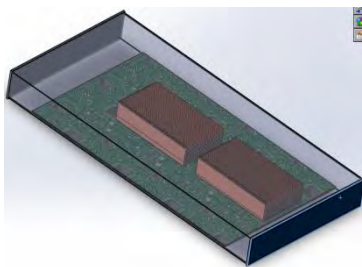


Рис. 1 Система воздушного охлаждения

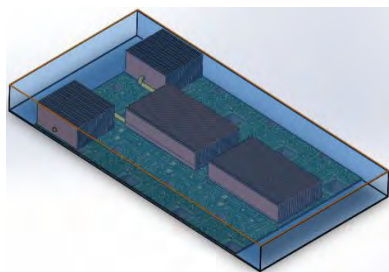


Рис. 2 Дополнительное охлаждение на основе тепловых трубок

Для повышения эффективности системы охлаждения была проведена оптимизация оребрения теплообменников радиаторов. Варьируемые параметры – ширина ребра и межреберный шаг. В качестве критерия рассматривалось количество тепла, выделяемое с поверхности радиатора. Допустимая температура процессора  $76^{\circ}\text{C}$ . Эта величина была принята как ограничение.

Для построения геометрических моделей система геометрического моделирования SolidWorks. Расчеты выполнялись при помощи модуля SolidWorks Flow Simulation. Работа выполнялась на базе института тепло- и массообмена НАН Беларуси.

## Выбор оптимальной конструкции плужного отвала

Хотько А.А.

Белорусский национальный технический университет

Плужной отвал – навесное оборудование для колёсной, гусеничной или путевой машины, предназначенное для удаления очистки от снега дороги или железнодорожного пути.

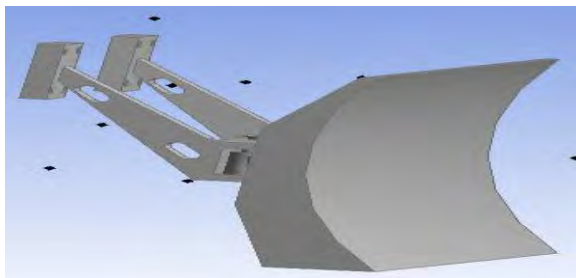
Плужной отвал может испытывать большие нагрузки, и его конструкция обладает большой массой. Поэтому, возникает актуальная задача по подготовке параметрических моделей различного вида этой структуры, которые послужат основой для дальнейших напряженно деформированных расчетов и выполнения оптимизационных вычислений.

Для достижения поставленной цели были разработаны трехмерные конечно-элементные модели с различными параметрами.

При постановке оптимизационной задачи в качестве критерия принята масса конструкции, а на напряжения накладывались ограничения.

При моделировании выявлено, что верхняя часть креплений отвала является самым слабым местом конструкции и установлено, что форма отверстий влияет на массу конструкции.

При оптимизации конструкции плужного отвала было определено, что для снижения массы конструкции необходимы два отверстия. При количестве отверстий более двух существенно увеличиваются напряжения в кронштейнах, в то же время при одном отверстии увеличивается масса конструкции. Оптимальной формой отверстий является представленная на рисунке 1.



Оптимальная конструкция отвала

Научный руководитель - Напрасников В. В.

**О создании игрового мира в ролевой on-line игре**

Пекарчик С.Е., Старостин А.А.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается механизм синхронизации объектов ролевой on-line игры Changes. Игровой мир создаётся с учётом особенностей жанра. В нем каждый объект представляется как вещь (thing). Каждая вещь имеет модель, уникальный идентификатор, позицию в пространстве, а также дополнительные характеристики в зависимости от типа вещи такие, как природа вещи, её здоровье, сопротивление повреждениям, информацию о рецепте для создания её аналога персонажем и другое.

Для синхронизации состояния такого огромного числа объектов между клиентом и сервером используется сравнение хэш-кодов (hashcode) соответствующих активных ячеек сервера и клиента, а также их времени последнего обновления. Хэш-код ячеек основывается на идентификационных номерах всех вещей внутри ячейки. Время последнего обновления ячейки соответствует времени наиболее позднего обновления среди всех вещей. Если вещь из ячейки исчезла (была удалена или перешла в другую ячейку), данные об её исчезновении некоторое время фиксируются в ячейке. В итоге сервер не передаёт информации об объектах клиенту до тех пор, пока хэш-коды и время последнего обновления ячеек совпадают. Если хэш-код не совпадает, то сервер передаёт клиенту данные только о тех изменениях, которые произошли со времени последнего обновления ячейки или ячеек. Если после передачи всех изменений хэш-код продолжает не совпадать, то клиент полностью обнуляет критическую ячейку и запрашивает данные об этой ячейке с нуля. Таким образом, игровое приложение может совмещать практически неограниченно большое количество интерактивных объектов и относительно низкое потребление сетевого трафика – по большей части, по сети периодически происходит сверка хэш-кода и времени последнего обновления. Для оптимизации использования ресурсов неиспользуемые ячейки как на стороне сервера, так и на стороне клиента помещаются на жесткий диск. Это позволяет сохранить достижения игроков и избежать повторной передачи информации об объектах, состояние которых не изменилось.

В итоге данная система позволила создавать интерактивное окружение, которое персонажи могут изменять, например, вырубить лес, очистить поле от травы и на нём построить деревню. При этом изменения будут видны всем, кто находится на этом сервере недалеко от места изменения.



## Расчет напряженно деформированного состояния конструкции плужного отвала

Хотько А. А.

Белорусский национальный технический университет

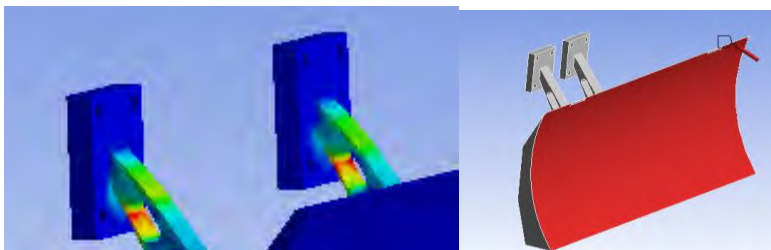
Плужной отвал – навесное оборудование для колёсной, гусеничной или путевой машины, предназначенное для удаления очистки от снега дороги или железнодорожного пути.

В силу специфики плужной отвала может испытывать большие нагрузки. Поэтому, возникает актуальная задача по подготовке параметрических моделей различного вида этой структуры, которые послужат основой для дальнейших расчетов напряженно-деформированного состояния и выбора рационального варианта конструкции.

Для достижения поставленной цели были разработаны трехмерные конечно-элементные модели с различными параметрами:

- модель с круглыми отверстиями;
- модель с овальными отверстиями;
- модель с фигурными краями отвала;
- модель с ровными краями отвала.

Действующие силы прикладывались на переднюю плоскость пластины отвала, имитируя нагрузки рабочего процесса (рисунок справа).



Расчетная схема (справа) и места наибольших напряжений плужного отвала (слева)

Результаты расчета представлены на рисунке слева. Как видно на этой картине напряжений по теории Мизеса, наиболее опасными участками являются места перемычек у кронштейнов крепления отвала к корпусу дорожной машины.

Научный руководитель - Напрасников В. В.

## СУБД Cassandra: обзор архитектуры

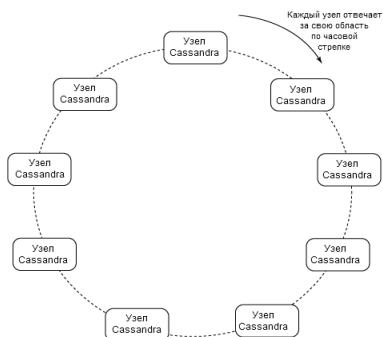
Добродей С.Г., Бородуля А.В.

Белорусский национальный технический университет

Apache Cassandra- это реализация семейства NoSQL Column, поддерживающая модель данных Big Table (большая таблица) с использованием некоторых архитектурных аспектов системы Amazon Dynamo. Некоторые из преимуществ Cassandra:

- высокая масштабируемость и надежность без элементов, отказ которых приводит к выходу из строя всей системы;
- реализация семейства NoSQL Column;
- SQL-подобный язык запросов (начиная с версии 0.8) и поддержка поиска посредством вторичных индексов;
- настраиваемая согласованность и поддержка репликации;
- гибкая схема.

Архитектура кластера Cassandra показана на рисунке Cassandra — распределенная система. Кластер состоит из нескольких узлов и распределяет данные между этими узлами (или секционировает их по терминологии баз данных).



### Кластер Cassandra

Для распределения элементов данных по узлам Cassandra использует последовательное хэширование. Cassandra использует хэш-алгоритм для вычисления хэш-значений ключей каждого элемента данных, хранящегося в Cassandra. Диапазон хэш-значений или все возможные хэш-значения распределяется между узлами кластера Cassandra. Затем Cassandra назначает каждому элементу данных свой узел, и этот узел отвечает за хранение и управление этим элементом данных.

**Обзор высокомасштабируемых СУБД**

Добродей С.Г., Бородуля А.В.

Белорусский национальный технический университет

На протяжении многих лет реляционные базы данных были наиболее популярным решением для хранения и обработки данных. Однако, современный мир постоянного обмена данными принес с собой существенные изменения в том, как профессионалы должны управлять данными и использовать их для того, чтобы добиться максимальной отдачи от бизнеса. . Переход от мэйнфреймов к клиент-серверной архитектуре, а после к миру онлайн сервисов и социальных сетей привёл к появлению бесчисленного количества приложений и постоянного растущего объема данных, которые трудно хранить и обрабатывать в классических реляционных базах данных. На смену им пришли высокомасштабируемые СУБД. В данной работе рассматривается MySQL Cluster, как продукт основанный на принципах реляционных баз данных, а так БД Apache Cassandra как представитель активно развивающегося направления NoSQL баз данных.

MySQL Cluster состоит из набора компьютеров, каждый выполняет ряд процессов, включая сервер MySQL, узлы хранения для NDB, сервер управления и (возможно) специализированные программы доступа к данным. Все эти программы работают вместе, чтобы формировать MySQL Cluster. Когда данные сохраняются в кластере, то данные таблицы хранятся в оперативной памяти. Данные, сохраненные в узлах памяти MySQL Cluster могут быть зеркалированы, таким образом кластер может обрабатывать свои индивидуальных узлов памяти, теряя только тот ряд транзакций, которые прерваны из-за потери состояния транзакции. Так как в прикладных программах имеется возможность обрабатывать свои транзакции, эти прерванные транзакции не являются источником проблем.

Apache Cassandra – масштабируемая NoSQL БД с открытым исходным кодом, отлично подходящая для задач управления большим количеством неструктурированных, полуструктурированных и структурированных наборов данных в нескольких датацентрах или в облаке. Cassandra обеспечивает непрерывную доступность, линейную масштабируемость. Она может использоваться на нескольких серверах без единой точки отказа.

В данной статье были рассмотрены основные концепции и механизмы работы СУБД Cassandra и MySQL Cluster.

## **Пользовательский интерфейс для предоставления информации из государственных органов**

Грек В.В., Герман О.В.

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

Электронные услуги - это повышение доступности получения информации из государственных органов. Если раньше можно было получить всю необходимую информацию, только лишь придя в кабинет чиновника, ожидая в очереди, теряя время, то в настоящее время значительный перечень услуг доступен без личного посещения госоргана.

Основная цель данного проекта – разработка модуля, автоматизирующего получение информации о финансовой несостоятельности. Система состоит из графического интерфейса, представляющего поля для ввода данных. Пользователь вводит данные, а именно UNP (учетный номер налогоплательщика), возвращаемый ответ представляет собой массив выходных данных, распределенных по полям.

Массив выходных данных представляет собой следующие поля:

- наименование ЮЛ(ИП), находящегося в процедуре экономической несостоятельности;
- учетный номер налогоплательщика (UNP) ЮЛ(ИП);
- заявитель (должник, кредитор, иные лица);
- дата подачи заявления в экономический суд;
- установленный защитный период и т.д.

Услуга представляется на едином портале электронных услуг и на персональных типовых адаптерах неограниченному перечню потребителей на возмездной основе по тарифам РУП «Национальный Центр Электронных Услуг» по доступу со строгой аутентификацией (с использованием действующего сертификата открытого ключа).

Конечно, получение информации возможно при помощи государственных услуг, сопровождающихся сбором, проверкой подготовленных документов и периодом ожидания, поэтому создание электронной услуги по делам финансовой несостоятельности является актуальным действием в связи с автоматизацией получения информации из государственных органов.

Такой подход сложен в разработке, но позволяет оперативно изменять и получать всю необходимую информацию, а также не требует от потребителей никаких навыков и глубоких знаний работы со сторонним программным обеспечением.

Новик П.Ю., Герман О.В.

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

Высокий уровень конкуренции в банковском бизнесе, стремление банков повысить рентабельность кредитных операций приводит к упрощению их кредитной политики, что, в свою очередь, повышает процент риска выдачи кредита неблагонадежному лицу, которое принесет убытки банку. В этой ситуации возникает задача качественного и всестороннего, но в то же время оперативного анализа благонадежности клиентов банка по различным критериям. Таким образом, можно сформулировать следующие задачи разработки проекта:

– формулировка требований к проверке благонадежности клиентов банка под различными углами зрения;

– выбор платформы для разработки автоматизированной системы «проверки благонадежности клиентов банка» среди альтернатив, как наиболее удовлетворяющую всем потребностям в текущих реалиях;

– проектирование системы исходя из предъявленных требований. Преимущества остаются за выбором для проекта клиент-серверной архитектуры, а также, ориентируясь на удобство и оптимизацию процессов, разделением потоков данных по источникам на WCF-сервис, хранимые процедуры и SQL-запросы.

Препроцессинг – анализ и проверка массива данных, базируясь на:

- скоринге – как математической или статистической модели анализа;
- стоп-факторах;
- пересечениях.

Представление предварительных результатов АБС, вспомогательные механизмы основываются на:

- сегментации;
- выделении;
- отображении;
- управлении массивами;
- экспорте данных.

Необходимость постпроцессинга как механизма экспертной оценки данных, которые не могут быть проанализированы без участия человека, очевидна. Это оценка полученной информации, принятие решений, управление процессом проверки результатов, ожидания от внедрения данной разработки и перспективы развития в будущем.

## **Разработка автоматизированной системы поиска работы в области информационных технологий**

Сысоев В.В.

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

В мире информационных технологий вопрос поиска новых кадров актуален как никогда, также как и поиск первой работы начинающими программистами. В Интернете существуют системы для поиска работы и сотрудников, но нет системы, которая помогала бы подбирать подходящих кандидатов в соответствии с требованиями предприятий, опираясь на ту или иную систему принятия решений.

Рассматривается разработка системы поиска работы в области информационных технологий с помощью рейтинга.

Целью системы поиска работы является подбор подходящих работников для компаний на основе профессиональных критериев.

Основными элементами системы поиска являются:

- учетные записи компании и соискателя работы – основная часть системы;
- критерии отбора. Критерии позволяют рассчитать рейтинг соискателя;
- рейтинг – обеспечивает сортировку и рекомендации для компании;
- база данных – хранит всю необходимую информацию о компаниях и соискателях;

В системе будут сравниваться требования компаний к работникам и резюме работников с целью поиска совпадений вакансий и характеристик.

В случае совпадения характеристик кандидаты будут оцениваться по следующим показателям: опыт работы, знание иностранных языков, рекомендации бывших работодателей, научных и учебных достижений.

Далее оценка подходящего работника будет производиться по одному из методов принятия решений. Таким образом, программный модуль представляет собой экспертную систему по подбору персонала.

Данный проект позволяет компаниям затрачивать меньше времени на поиск подходящих сотрудников. Система будет полезна и кандидатам для принятия их на работу, поскольку рейтинг прямо зависит от умений и достижений кандидата. Также система помогает начинающим разработчикам с поиском первого места работы, а компаниям – предоставит возможность выбрать наиболее талантливых студентов на позиции стажеров.

Научный руководитель - Герман О.В.

**Программный модуль отслеживания движения товаров  
в электронном магазине**

<sup>1</sup>Плевако А. М., <sup>2</sup>Герман Ю.О.

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

Рассматривается разработка программного модуля отслеживания движения товара в электронных магазинах для пользователей, занимающихся покупкой автомобилей.

Программный модуль позволяет контролировать наличие товаров в электронных магазинах, а также фиксировать изменение цен для дальнейшего анализа.

Основными функциональными элементами программного модуля являются:

- поиск товара. Поиск осуществляется по различным интернет-ресурсам с возможностью задания критериев поиска;

- заявки в обработке – это запросы поиска, по которым на текущий момент времени не был найден искомый товар. Данные запросы находятся в постоянной обработке, пока не будут удалены пользователем, либо до завершения поиска (появления искомого товара в каком-либо интернет-магазине). Как только искомый товар будет найден, приложение выдаст оповещение, и переместит заявку в следующий модуль.

- завершенные заявки – это запросы, по которым был найден результат, однако они находятся в постоянной обработке с целью фиксации изменения цен. Как только будет зафиксировано изменение, программа выдаст оповещение, а в истории заявки будет зафиксировано изменение.

- архив заявок. Здесь хранятся заявки, обработка которых была приостановлена пользователем по каким-либо причинам либо уже завершена.

Целью данного проекта является разработка программного модуля, позволяющего отслеживать движение товаров в электронных магазинах. Конечно, эти действия может производить работник, выполняя поиск необходимых товаров в различных магазинах, однако это занимает много времени, и присутствует вероятность наличия ошибки работника. Модуль позволяет автоматизировать процесс поиска товаров на нескольких интернет-ресурсах одновременно, а также не требует от персонала каких-либо навыков работы со сторонним программным обеспечением. Такой подход позволяет оперативно получать информацию об изменениях рынка сбыта товаров, что значительно экономит время и упрощает работу.

## Программный модуль прогнозирования киберспортивных матчей

<sup>1</sup>Габлеев Е.А., <sup>2</sup>Герман Ю.О.

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

Киберспорт с недавних времен стал официальной дисциплиной во многих странах мира. Наиболее значимым аналогом Олимпийских игр явился международный турнир World Cyber Games (WCG).

Рассматривается разработка программного модуля для прогнозирования киберспортивных матчей с анализом предыдущих встреч команд и их игровой статистики.

Цель проекта состоит в том, чтобы предсказать победителя в предстоящей встрече между профессиональными командами, представляющих конкретную дисциплину.

Прогноз победителя осуществляется с помощью метода принятия решений на основе анализа иерархий и статистической обработки данных по теореме Байеса. Оценка игроков команды производится по заданным критериям, например, стаж игрока, возраст, количество побед.

Интегральная оценка по Саати подставляется в теорему Байеса, которая характеризует статистические данные по команде за предыдущие годы.

Основные функции, реализованные в проекте:

- регистрация пользовательского аккаунта, перевод аккаунта в статус «аналитика»;
- просмотр игровой статистики матчей, проходящих на данный момент времени;
- возможность обычного пользователя предсказать победителя встречи, голосование аналитиков за победителя в матче;
- просмотр завершенных встреч команд с представлением полной статистики по встрече;
- просмотр коэффициентов различных платформ для ставок на проходящие киберспортивные матчи;
- просмотр статистики последних матчей, последних встреч команд участвующих в матче;
- профиль игрока с представлением информации о нем, последних встреч с его участием, текущих показателей игрока и последних команд, в которых он состоял и др.

Программный модуль реализован на фреймворке Ruby on Rails языка программирования Ruby.



## Программный модуль прогнозирования погоды

Гавриленко К.С.

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

Прогнозирование погоды на данный момент играет важную роль и помогает решить множество вопросов в жизни людей, начиная с того, брать ли зонтик с собой, и заканчивая глобальными вопросами.

Рассматривается разработка программного модуля прогнозирования погоды с возможностью выбора сельскохозяйственных культур для посева на определенной территории на основе полученных данных. В нашем случае прогнозирование погоды служит для оптимального выбора сельскохозяйственной культуры для выращивания на определенной территории

Под оптимальным выбором понимается выбор таких сельскохозяйственных культур, которые в полученных погодных условиях дадут наибольший урожай.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- собрать статистические данные о погоде;
- разработать базу данных для приложения.
- разработать программный модуль для прогнозирования.

Прогнозирование будет осуществляться с помощью статистического метода на основе регрессионной модели.

Для расчета по данному методу необходимо собрать статистику погодных условий как минимум за 10 прошлых лет.

Определение выращиваемого вида культуры основывается на игровых методах.

Для этого необходимо собрать данные о наиболее благоприятных и неблагоприятных условиях для роста сельскохозяйственных культур в данной местности

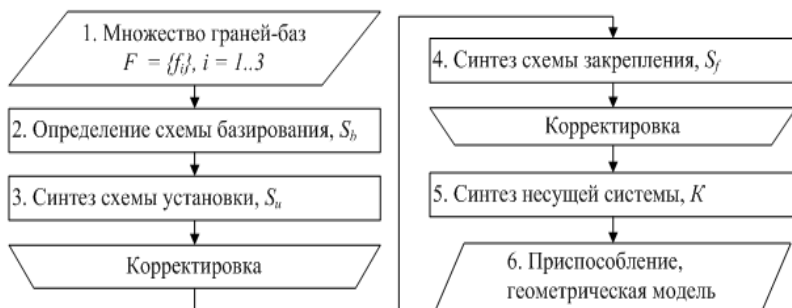
Актуальность определения оптимальных сельскохозяйственных культур для выращивания на данной территории заключается в том, что в определенных погодных условиях какие-то виды сельскохозяйственных культур могут дать высокий уровень урожая, а некоторые – наоборот в данных погодных условиях плохо развиваются и растут, вследствие чего дадут небольшой уровень урожая.

Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о том, сколько площади засеваемой территории потребуется использовать под тот или иной вид сельскохозяйственной культуры. Научный руководитель - Герман Ю.О.

## Программные средства генерирования конструкторских решений

Войтович М.В., Барышев А.А., Кункевич Д.П.  
Белорусский национальный технический университет

Наиболее автоматизированная часть конструкторского проектирования в настоящее время – это геометрическое моделирование. Системы соответствующего профиля (SolidWorks, NX и т.п) обеспечивают создание сложнейших геометрических форм деталей, объединение их в сборочные единицы. Эффективность процесса может быть значительно повышена за счет программно-методических модулей, способных сгенерировать конструкторское решение либо отдельную его часть. Автоматизация такого уровня возможна для хорошо структурированных объектов. В качестве таковых в данной работе были выбраны технологические приспособления для установки и закрепления деталей на технологических операциях. Формализованная структура проектирования, взятая за основу при разработке средств, приведена на рисунке



Блок-схема проектирования

Система включает два модуля. Первый добавляет в модель функциональные элементы конструкции (установочные) и размещает их. Для этого в системе геометрического моделирования (SolidWorks) следует создать сборочный документ, поместить в него в качестве первого компонента оснащаемую деталь и выделить базовые грани. Проектировщик может отредактировать предложенное решение. После этого выполняется второй модуль, который формирует несущую систему приспособления.

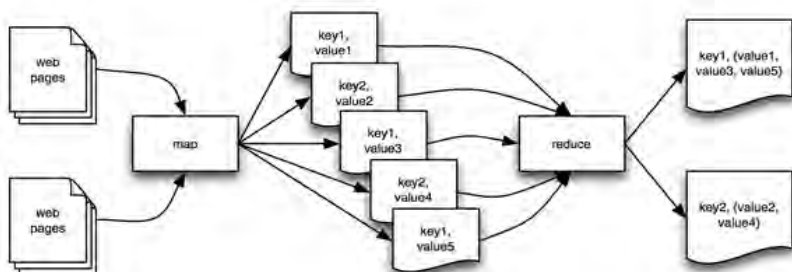
## Информационный ресурс на базе MapReduce для управления данными

Шорин Р.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время практически не существует информационных ресурсов, которые могли бы полностью удовлетворить потребности в организации и управлении данными в образовательном пространстве, обеспечивая быстрый доступ к огромному количеству научных работ, статей и докладов. Одним из методов распределенной обработки больших данных для получения воспринимаемых человеком результатов, эффективных в условиях непрерывного роста данных, является метод MapReduce.

Разработанный информационный ресурс реализует модель MapReduce для выборки необходимой (удовлетворяющей некоторым условиям) и актуальной информации среди множества кластеров образовательного пространства. Структура модели MapReduce представлена на рисунке.



Структура модели распределенной обработки данных MapReduce

Информационный ресурс был реализован с помощью технологий Ruby on Rails, MySQL, Apache Hadoop и языка программирования Ruby.

Тестирование разработанного информационного ресурса показало, что метод MapReduce эффективно справляется с выборкой конкретного материала среди множества разнообразных данных. Была достигнута высокая производительность ресурса за счет имеющейся в MapReduce возможности использовать произвольное количество кластеров для распределенных вычислений.

Научный руководитель доцент Ковалева И.В.

**Программно-алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления сервисным обслуживанием в помещениях различного назначения**

Скудняков Ю.А., Морев Н.А.

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

Использование автоматизированной системы управления сервисным обслуживанием в помещениях позволяет обеспечить автоматическую и согласованную работу всех систем жизнеобеспечения и безопасности.

Система автоматизации обслуживания включает три типа устройств: контроллеры, датчики – устройства, получающие информацию о внешних условиях и актуаторы.

Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение имеет обширные функциональные возможности, покрывая основные пользовательские предпочтения. Однако, остается множество других нереализованных элементов, которые можно добавить в будущем. В первую очередь, это касается работы с оборудованием, работающим по другим протоколам. Например, по технологии MQTT, ModBus, ZigBee. Используемая кодовая база позволяет дорабатывать систему на поддержку отличных от Z-Wave устройств. Учитывая отсутствие явных лидеров в разработке оборудования для «интернета вещей», поддержка множества протоколов - самая приоритетная задача на будущее развитие.

Наряду с формированием окончательной версии веб-интерфейса разработано мобильное приложение, визуализирующее состояние устройств, обеспечивающее управление ими, работу со сценариями и обладающее другими функциональными возможностями.

В будущем необходимо работать над добавлением новых функциональных возможностей сценариев, использование которых позволит повысить реальный уровень автоматизации управления и безопасность в помещении, например, реализация SMS-уведомления при срабатывании определенных датчиков, подключение к сети пожарного извещения и охранных систем, добавление в почтовых рассылках снимков с камер видеонаблюдения.

# **Металлургические технологии**

**Исследование влияния оставляемого в печи металла и шлака предыдущей плавки на показатели работы печи**

Корнеев С.В., Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на большинстве металлургических заводов, оснащенных высокомоощными электродуговыми печами сталь выплавляется с использованием, оставляемого в печи металла и шлака предыдущей плавки или так называемого болота.

Сложность производственного контроля массы болота, как правило, заключается в том, что ее контролируют визуально при помощи щупа после выпуска плавки. С другой стороны масса жидкого металла в печи связана с расходным коэффициентом металлошихты, который зависит от ее вида и загрязненности. Таким образом, использование обоих способов контроля массы болота может приводить к некоторым погрешностям в определении влияния массы болота на показатели работы печи.

Вместе с тем, практическое использование способа плавки с болотом показало его преимущества перед использованием выплавки стали без использования болота. Статистический анализ множества плавков с использованием болота разной массы и плавков без болота показывает, что удельный расход электрической энергии снижается на 5-60 кВт·ч/т, а время плавки под током на 2-5 минут в зависимости от количества болота. Вместе с тем наблюдается нелинейный характер данной зависимости, причем при увеличении массы болота более 15-20% данные характеристики практически перестают изменяться.

Физическое объяснение данной зависимости получено в результате моделирования нагрева металлошихты в рабочем пространстве печи при использовании метода конечных элементов и эффективных коэффициентов теплопроводности и заключается в том, что: дополнительная теплота от расплавленного металла подводится с самого начала плавки снизу слоя металлошихты, что приводит к увеличению суммарной мощности всех источников энергии и кроме того позволяет прогреть нижние слои металлошихты, которых не достигает излучение дуг и газы топливно-кислородных горелок; более равномерное температурное поле позволяет раньше завершить доплавление, а, следовательно, быстрее начать период доводки; увеличение количества болота свыше 15-20% не дает значительного прироста в интенсивности теплообмена, но отражается на снижении количества сливаемого жидкого металла и снижении производительности печи.

## Современные методы контроля шлакового режима в электродуговых печах

Корнеев С.В., Трусова И.А., Спиридович А.Е.  
Белорусский национальный технический университет

На процесс вспенивания шлака влияет как количество шлака, так и его физические характеристики, такие как вязкость и поверхностное натяжение, которые в свою очередь зависят от его химического состава и температуры. Кроме того для эффективной генерации пузырьков необходимо наличие углерода и кислорода подаваемых посредством инжекторов.

В настоящее время существуют три принципиальных метода контроля наличия вспененного шлака возле электрической дуги: оптический, звуковой (виброакустический) и звуковой с токовыми сигналами.

Оптический способ основан на различном соотношении ультрафиолетового и инфракрасного излучения открытой и закрытой дуги и осуществлен в электродуговых печах путем установки оптического устройства непосредственно на манипуляторе, посредством которого, осуществляется ввод через технологическое окно порошка углерода и кислорода. Звуковой способ основан на том, что открытая или закрытая дуга испускает звуковые волны различной интенсивности и частоты, что может использоваться для анализа состояния шлака (не вспененный, частично вспененный или вспененный).

Современная модификация системы основанной на виброакустическом способе контроля SIMELT FSM была установлена на ОАО БМЗ в 2009 и 2011 годах на двух из трех печей. Данная система построена на одновременном использовании трех виброакустических датчиков, расположенных в корпусе печи напротив электродов. Также анализируются колебания токовых сигналов от фаз, что в совокупности позволяет оперативно направлять материалы в необходимую зону печи при открытии дуг. Моделирование облученности стен печи при разной степени экранирования дуг вспененным шлаком показало, что использование системы контроля состояния шлака позволяет снизить энергопотребление на 2-10 кВт·ч/т (при общем снижении расхода электрической энергии за счет вспенивания шлака 20-30 кВт·ч/т), что согласуется с данными производственной эксплуатации печей с установленными системами SIMELT FSM. Кроме того контроль вспенивания позволяет повысить надежность эксплуатации водоохлаждаемых корпусов и сводов и снизить простои, связанные с перегревом водоохлаждаемых панелей.

**Анализ причин, вызывающих повышенный угар легирующих элементов при выплавке стали в индукционной печи**

Румянцева Г.А., Ратников П.Э.

Белорусский национальный технический университет

Анализ теории выплавки металлов и сплавов с применением индукционных тигельных печей повышенной частоты (ИТППЧ) показывает, что на величину угара элементов оказывает влияние достаточное большое число факторов. Это фракционный и химический состав шихты, режим ее подачи в тигель печи, конструктивные особенности конкретного агрегата, продолжительность плавки, состав и количество шлака, состояние и состав футеровки и др. Частично потери легирующих элементов обусловлены составом и состоянием футеровки печи. Так, при плавке специальных сталей с высоким содержанием марганца, никеля, титана, алюминия и со строго ограниченным содержанием кремния происходит насыщение сплава кремнием, восстанавливающимся из кислой футеровки, что недопустимо. При выплавке марганцовистых сплавов кислая футеровка быстро разрушается, так как закись марганца, реагируя с кремнеземом футеровки, образует легкоплавкий силикат марганца. Алюминий и титан восстанавливают кремний из футеровки. Сплавы с повышенным содержанием никеля и хрома, выплавляемые в кислой печи, загрязняются мелкодисперсными включениями кремнезема, что отрицательно сказывается на качестве литья. С целью экспериментального определения величин угаров легирующих элементов при выплавке многокомпонентных высоколегированных железоуглеродистых сплавов специалистами НИЛ «ТТМП» в сотрудничестве с работниками частного производственного унитарного предприятия «Литье» было проведено четыре серии опытных плавов экспериментального синтетического железоуглеродистого сплава (заменителя износостойкого чугуна ЧХ28)

Анализ опытных плавов позволил отметить следующие закономерности: увеличение относительной доли лома 3А в металлозавалке приводит к возрастанию угара кремния и марганца в расплаве, что вызвано необходимостью поддержания более высокой температуры печи; использование болота снижает общий металлургический угар в 2–3 раза, но приводит к увеличению угара марганца на 2–3 %; применение в завалке металлической окалины в количестве 3–4 % позволяет снизить угар кремния на 5–10 %, уменьшить угар марганца с 8–10 % до 3 % и существенно (в 3 раза) понизить общий металлургический угар с 2,7 до 0,9 %.



**Влияние динамических воздействий на процессы плавки черных  
и цветных металлов в электрических печах**

Цыкунов П.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время при плавке сталей и сплавов в металлургических печах широко применяются различные методы воздействия на расплав с целью повышения качества продукции. В зависимости от способа воздействия на расплав можно выделить электромагнитные и виброакустические.

Виброакустическое воздействие позволяет ускорить всплытие пузырьков газа и шлаковых составляющих на поверхность расплава, а также на этапе кристаллизации – дробить растущие дендриты, тем самым уменьшая конечный размер зерна.

Электромагнитное воздействие на расплав (магнитогидродинамическое перемешивание) способствует: интенсивному перемешиванию расплава, распределению легирующих элементов по всему объему и всплытию пузырьков газа и нерастворившихся элементов. Также такое воздействие позволяет контролировать направление и скорость движения расплава, например, в канальных индукционных печах или вакуумной индукционной плавке с последующей разливкой в вакууме.

Однако описанные методы применяются уже после проведения плавки сталей и сплавов, а не в процессе выплавки. При анализе литературных источников и производственных данных не выявлено промышленное применение дополнительного виброакустического или электромагнитного воздействия на свойства расплава непосредственно при плавке.

В ходе работы автором предполагается исследовать влияние виброакустического воздействия на качество готовой продукции при плавке стали в индукционных печах. Данный вид воздействия возможно применить на стадии выплавки в сочетании с электромагнитным перемешиванием от индуктора с целью возможного снижения дефектов наследственности стали. Также с целью формирования требуемой структуры слитка планируется проведение экспериментов при изучении комбинированного воздействия электромагнитных и вибрационных колебаний.

**Литейное производство  
черных и цветных  
металлов**

## Выбор критериев для оценки эффективности использования высокомагнезиальных флюсов

Неменёнок Б.М., Румянцева Г.А., Горбель И.А.  
Белорусский национальный технический университет

Основным компонентом огнеупорных изделий в футеровке сталеплавильных агрегатов и сталеразливочных ковшей является периклаз (MgO), который входит в состав периклазовых, периклазоуглеродистых, шпинельнопериклазоуглеродистых и алюмопериклазоуглеродистых огнеупоров. Степень растворения огнеупора в шлаке тем меньше, чем больше концентрация MgO в нем приближена к равновесной. Для корректировки состава шлака используют флюсы ожелезненные магнезиальные ФОМ (ТТ 200-282-2003), флюс обожжённый магнезиально-известковый (ФО-МИ), высокомагнезиальный флюс «Флюмаг». Совершенно очевидно, что данные флюсы будут растворяться в шлаке с разной скоростью, что скажется на интенсивности насыщения их оксидом магния и на растворении футеровки в шлаке в зависимости от типа плавильного агрегата и технологии плавки.

В качестве критерия эффективности флюса предложен коэффициент, показывающий, во сколько раз скорость растворения периклазоуглеродистых огнеупоров в шлаке без флюса больше, чем в шлаке с магнезиальным флюсом. В основу определения данного критерия положено уравнение Фика, позволяющее достаточно точно описать скорость растворения огнеупорной футеровки в жидком шлаке допуская, что взаимодействующие вещества являются однокомпонентными.

Количественную оценку константы скорости перехода MgO в шлак при растворении в нем огнеупора (К<sub>пу</sub>) можно определить по формуле

$$K_{пу} = \frac{M_{шл}}{F_{пу} t} \ln \frac{M_{шл}(C_p - C)}{M_{шл}(C_p - C) - m},$$

где M<sub>шл</sub> – масса шлака до растворения огнеупора;

F<sub>пу</sub> – площадь контакта изношенного участка футеровки со шлаком;

t – продолжительность плавки;

C<sub>p</sub> – равновесная концентрация MgO в шлаке;

C – начальная концентрация MgO в шлаке;

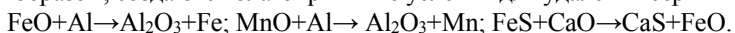
m – количество растворяющегося MgO из огнеупоров в шлаке за одну плавку.

Используя предложенный критерий можно дать количественную оценку скорости растворения различных магнезиальных флюсов в ковшовом шлаке и таким образом спрогнозировать их эффективность.

**Разработка новых составов раскислительных смесей  
для рафинировочных шлаков**

Трибушевский Л.В., Горбель И.А., Красовский А.Л.  
Белорусский национальный технический университет

При плавке стали в большегрузных электродуговых печах удаление серы из расплава стали проводится за пределами плавильного агрегата на установке «печь-ковш». Необходимыми условиями для удаления серы из расплава в шлак являются высокая основность шлака и его низкая окисленность. Высокая основность рафинировочного шлака обеспечивается добавками извести в сталеразливочный ковш, а для получения низкой окисленности шлака проводят его обработку раскислительными смесями типа АРС. Алюминий, содержащийся в АРСе, в количестве 20-24 % взаимодействует с оксидами железа и марганца и, тем самым, снижает окисленность шлака. Таким образом, создаются благоприятные условия для удаления серы в шлак:



Присадку алюминиевой раскислительной смеси осуществляли сразу после выпуска стали в сталеразливочный ковш и при дальнейшей обработке металла на установке «печь-ковш». Расход АРС составлял 40-120 кг на плавку. После обработки шлака АРС визуально отмечалось повышение его жидкотекучести, достигавшей максимума при присадке 100 и более килограмм раскислителя. Степень десульфурации стали находилась в пределах 23,9-61,1 % и в среднем составила 38,7 %, а по штатной технологии раскисления степень десульфурации находилась в пределах 17,0-57,1 % при среднем значении 35,5 %. Вместе с тем, процесс ввода раскислительной смеси сопровождался интенсивным пыле- и газовыделением, что связано с наличием в составе АРС остатков солевого флюса и дисперсных включений алюминия и его оксида. Для устранения указанных недостатков в качестве основы для получения АРС использовали отмытые алюминиевые шлаки, которые после смешивания с необходимыми компонентами подвергали гранулированию. В результате были получены новые составы раскислительных смесей, обеспечивающие эффективное раскисление шлака, его необходимую жидкотекучесть и более благоприятные условия труда на установке «печь-ковш». Использование новой раскислительной смеси для рафинировочных шлаков позволило исключить дополнительную обработку их фторидом кальция, негативно влияющим на стойкость футеровки сталеразливочного ковша в зоне шлакового пояса и повышающим себестоимость выплавляемой стали.

**О возможности комплексной переработки сталеплавильных шлаков**

Немененок Б.М., Прусова И.В., Семенец И.Б., Прокопчук Д.А.  
Белорусский национальный технический университет

Наиболее крупнотоннажными отходами, образующимися при производстве стали, являются сталеплавильные шлаки, состоящие из печных и рафинировочных.

При выплавке 1 т стали в электродуговых печах образуется 150-200 кг сталеплавильных шлаков, из которых около 95 % составляют печные шлаки, содержащие до 10 % чистого металла и 15-40 % оксидов железа. Общее количество железа в шлаках, которое можно извлечь, составляет 20-30 % от массы шлака, при этом металлическая составляющая находится в виде корольков и настылей. Следует отметить, что значительная доля металла, присутствующего в шлаках в виде оксидов FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, при переработке шлаков в строительный щебень не извлекается и, в ряде случаев, служит ограничением для такой переработки.

Вместе с тем, существует потенциальная возможность по возвращению в передел до 90 % металла из шлака. В качестве варианта рассмотрена возможность установки около дуговой сталеплавильной печи агрегата комплексной обработки шлака, в котором планируется доизвлечение металла за счет жидкофазного восстановления оксидов железа и осаждения его корольков. В качестве агрегатов жидкофазного восстановления возможно использование установок ZEWA (Евросоюз), РОМЕЛТ (Россия), МАГМА (Россия), а для быстрого охлаждения шлакового расплава от данных установок целесообразно применение агрегата типа «барабанный кристаллизатор». При таком расположении оборудования более полно используется тепло шлакового расплава, сливаемого из сталеплавильного агрегата, что положительно влияет на экономику процесса. В качестве восстановителя оксидов железа можно использовать дешевые углеродосодержащие материалы (энергетические и бурые угли, отходы углеобогащения и др.).

Реализация такой технологии позволит исключить выделение новых площадей под шлаковые отвалы, на 90 % извлечь металлическое железо и вернуть в производство от 5 до 20 кг скрапа на тонну стали, организовать замещение до 10 кг извести на тонну стали благодаря использованию стабилизированных рафинировочных шлаков и осуществить производство качественного строительного щебня.

**Анализ составов рафинировочных шлаков при обработке стали 80К на установке «печь-ковш»**

Румянцева Г.А., Трибушевский Л.В., Кулик М.А.  
Белорусский национальный технический университет

При обработке стали 80К на установке «печь-ковш» степень десульфурации составляет 30-50 %, при этом отмечаются существенные колебания по содержанию в шлаке основных составляющих.

Статистическая обработка 238 составов рафинировочных шлаков показала, что содержание  $\text{SiO}_2$  в шлаках подчиняется закону нормального распределения за исключением интервала 25,0-30,0 %, при этом максимальное количество случаев приходится на содержание  $\text{SiO}_2$  30-40 %, что намного превышает оптимальную концентрацию. Распределение содержания СаО в шлаках полностью подчиняется закону нормального распределения и наибольшее количество случаев приходится на диапазон концентраций 45,0-55,0 %, что ниже рекомендуемых. Распределение концентраций  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шлаках так же подчиняется закону нормального распределения с преобладающим количеством случаев в интервале 2,5-4,0 %. Такая низкая концентрация  $\text{Al}_2\text{O}_3$  объясняется спецификой производства кордовой стали из-за опасности ее загрязнения труднодеформируемыми включениями корунда. В отношении распределения MgO следует отметить, что в интервале концентраций 2,0-9,0 % оно подчиняется закону нормального распределения, но при этом максимальное количество случаев приходится на концентрацию 4,0-6,0 %, что ниже оптимальных значений. Следует отметить, что MgO повышает вязкость шлаков, что ухудшает десульфурацию, но замедляет процесс растворения футеровки ковша в зоне шлакового пояса.

В подавляющем большинстве случаев (более 72 %) содержание MnO не превышает 0,5 %. Вместе с тем, ряд составов шлаков (около 15 %) имеют содержание оксида марганца от 1,0 до 4,0 %. Почти такая же зависимость наблюдается и в отношении содержания в шлаках FeO, где примерно 55 % составов шлаков содержит FeO от 0,01 до 0,5 %. При этом встречаются составы шлаков с концентрацией FeO от 0,5 до 1,5 % (около 37 % случаев) и около 10 % шлаков содержат более 2,0 % FeO, что свидетельствует о плохой раскисленности рафинировочного шлака.

Проведенный анализ составов рафинировочных шлаков выявил существенные отклонения в его составе от оптимальных значений. Поэтому необходимо обратить внимание на эффективность операции диффузионного раскисления шлака с целью минимизации его окисленности.

## Анализ составов печных шлаков при выплавке стали 80К в электродуговых печах большой мощности

Бежок А.П., Глушанкова Л.Я., Кулик М.А., Семенец И.Б.  
Белорусский национальный технический университет

Плавка стали в электродуговых печах большой мощности производится по одношлаковому режиму с окислительным периодом, в задачу которого входит удаление фосфора. Для оценки стабильности шлакового режима анализировались составы печных шлаков 287 плавов стали 80К. Установлено, что печные шлаки имеют значительные колебания по содержанию основных компонентов. Так, содержание  $\text{SiO}_2$  изменяется от 7,5 до 37,5 %,  $\text{CaO}$  от 22,8 до 52,1 %,  $\text{MgO}$  от 0,29 до 17,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 0,07 до 4,74 %,  $\text{FeO}$  от 0,39 до 46,1 %,  $\text{MnO}$  от 0,1 до 6,8 %.

В результате статистической обработки составов шлаков установлено, что распределение содержания  $\text{SiO}_2$  в шлаках практически подчиняется закону нормального распределения в диапазоне концентраций 5,0-25,0 % и только менее 4 % анализируемых составов имеют отклонения при содержании  $\text{SiO}_2$  25,0-30,0 %. Основное количество составов (около 49 %) содержат  $\text{SiO}_2$  в пределах 10,0-15,0 %. Распределение  $\text{CaO}$  в печных шлаках также описывается законом нормального распределения и основное количество случаев (около 63 %) приходится на диапазон концентраций 25,0-40,0 %. Распределение  $\text{MgO}$  имеет отклонение от закона нормального распределения в интервале концентраций 0-1,5 % и 6,0-7,5 %. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  подчиняется закону нормального распределения и около 90 % случаев приходится на концентрацию 1,0-4,0 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Колебания концентраций  $\text{MnO}$  в печных шлаках хорошо описываются законом нормального распределения и около 94 % случаев попадает в диапазон 0-4,0 %  $\text{MnO}$ . На диапазон концентраций 16,0-48,0 %  $\text{FeO}$  приходится около 90 % составов, что хорошо согласуется с законом нормального распределения и только примерно 10 % шлаков отличаются низким содержанием  $\text{FeO}$  (< 8,0 %).

Распределение суммарного содержания в шлаках ( $\text{FeO}+\text{MnO}$ ) практически повторяет аналогичную зависимость для  $\text{FeO}$ .

Основность печного шлака для 90 % случаев описывается законом нормального распределения и данный показатель изменяется в диапазоне 1,0-4,0.

Проведенный анализ составов печных шлаков при выплавке стали 80К показывает, что в подавляющем большинстве случаев их составы обладают высокой основностью и окисленностью, что обеспечивает удаление фосфора из расплава в шлак.

**Модифицирование заэвтектических хромистых чугунов**<sup>1</sup>Барановский К.Э., <sup>1</sup>Розенберг Е.В., <sup>2</sup>Дувалов П.Ю.<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>«Институт технологии металлов» НАН Беларуси

Современные тенденции развития промышленности требуют повышения ресурса работы деталей машин, работающих в условиях абразивного износа. Износостойкие хромистые чугуны (ИЧХ) являются одним из наиболее распространенных износостойких материалов. В настоящее время в СНГ и Республике Беларусь в основном используются доэвтектические чугуны, содержащие 2.2-3 % углерода и соответственно 25-30 % карбидов: ИЧХ28Н2, ИЧХ16МЗ, ИЧХ18. Известно, что износостойкость ИЧХ линейно повышается с увеличением содержания углерода (количества карбидов). Поэтому одним из методов увеличения износостойкости ИЧХ является использование заэвтектических чугунов, содержащих 3,8-4,0 % углерода и соответственно 50-52 % карбидов. Однако использование заэвтектических чугунов, изготовленных по обычной технологии, приводит к резкому снижению механических свойств, что связано с наличием в структуре первичных карбидов, размер которых превышает в 5-10 раз эвтектические карбиды. Значительно повысить ресурс работы деталей из заэвтектических ИЧХ можно за счет использования модифицирующих добавок, позволяющих измельчить первичные карбиды до размеров сопоставимых с эвтектическими карбидами. Для проверки технологической схемы управления структурой заэвтектического высокохромистого чугуна, содержащего 4,1-4,4 % С была проведена серия экспериментов. Комплексный модификатор, состоящий из химически активного вещества и поверхностно активного вещества был добавлен в расплав хромистого чугуна. Температура ввода модификатора составляла 1400 °С.

Модифицирование привело к измельчению как заэвтектических, так и эвтектических карбидов. Модифицирование уменьшает размер заэвтектических карбидов в 2 раза. Наиболее эффективно введение 0,15 % модификатора. Дальнейшее увеличение количества модификатора не приводит к значительному измельчению структуры. Модифицирование уменьшило размер эвтектических карбидов в 1.2-1,5 раза, но в меньшей степени, чем размер заэвтектических карбидов. Проведенные исследования показали эффективность обработки расплава ИЧХ модификатором, содержащим поверхностно активными элементами. Предварительные испытания показали увеличения износостойкости модифицированных заэвтектических чугунов по сравнению со стандартными чугунами.



**Смесевой модификатор для серых чугунов**

Проворова И.Б., Барановский К.Э.

Белорусский национальный технический университет

Серые чугуны широко применяются в автомобилестроении для изготовления большой номенклатуры деталей. Однако их качество не всегда удовлетворяет всё возрастающим требованиям, предъявляемым к деталям в машиностроении. Основной проблемой для существующих типов и марок чугунов является их структурная нестабильность в пределах требуемых нормативных показателей, представленная поверхностным и глубинным отбелом. В связи с этим модифицирующая обработка особенно актуальна для серого чугуна, так как позволяет устранить отбел в тонкостенных отливках. На сегодняшний день, в условиях Республики Беларусь наиболее актуальными являются смесевые модификаторы. Благодаря комбинации эффективных элементов, смесевые модификаторы обладают хорошим модифицирующим эффектом, способствующим устранению образованию цементита в структуре чугуна. При подборе состава модифицирующих присадок целесообразно использовать элементы, сходные по составу и свойствам т.к. в этом случае есть возможность, запускать один и те же механизмы при помощи разных элементов, подбирая оптимальные варианты лигатур. Наибольший интерес представляют модификаторы содержащие: карбонаты щелочноземельных металлов, барий, углерод, кремний. Исследование проводилось в промышленных условиях (литейный цех №1 ОАО «Минский тракторный завод»). Обработку расплава серого чугуна состава (% по массе): 3.38 С; 2.06 Si; 0.73 Mn; 0.18 Cr; 0.17 Cu; 0.07 P; 0.008 S осуществляли модификаторами (0.3%) при переливе из раздаточного в заливочный ковш емкостью 400 кг. Расплав обрабатывался:

- 1) по принятой на заводе технологии модифицирования (графитизирующий модификатор производства РФ);
- 2) смесевой графитизирующий модификатор, совместной разработки БНТУ и ООО «ПолитегМет»;
- 3) скомпактированный смесевой графитизирующий модификатор, совместной разработки БНТУ и ООО «ПолитегМет».

Величину отбела определяли на клиновидных пробах. Результаты исследований показали, что смесевой модифицирование более эффективно снижает величину отбела по сравнению с графитизирующими модификаторами, а компактирование с помощью различных связующих позволит применять в смесевом модификаторе компоненты с мелкой фракцией без потери технологичности ввода, усвоения и эффективности модифицирования.

**Исследование процессов металлургической переработки лома  
и отходов цветных металлов и сплавов**

Ринкунас В.Е., Довнар Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Важным этапом металлургической переработки металлического лома и отходов является подготовка сырья, включающая разделку и сортировку. Сортировка по группам вторичных цветных металлов в соответствии с ГОСТ 1639-78 позволяет более точно составлять шихту и рационально использовать сырьё. После сортировки производится удаление приделок. Целесообразно производить пакетирование легковесного деформируемого алюминия для удобной перевозки сырья к месту плавки и более плотной загрузки в печь.

Механическая обработка заготовок характеризуется образованием стружки, при длительном хранении которой увеличивается её окисление. Для снижения степени окисления и удобной загрузки в печь стружка брикетуется. В процессе плавки сыпучей и выюнообразной стружки возникает проблема высокого угара и малого металлургического выхода, так как при механической обработке используется масло. Важным фактором является отделение от алюминиевой стружки включений других цветных и черных металлов в момент ее образования и перед брикетированием (визуально и с помощью магнитной сепарации).

При производстве литейных алюминиевых сплавов желательно после сортировки лома и отходов подобрать такие шихтовые материалы, которые исключают использование чистого алюминия и легирующих добавок. Например, использование алюминия литейного одной группы с высоким содержанием меди позволяет получать сплав АК5М2 без добавления легирующих элементов.

Таким образом, качественная сортировка и разделка лома и отходов позволяет подбирать сырьё нужного состава, которое обеспечивает наилучшее использование содержащихся в них кремния, меди и других элементов, уменьшение засоренности сырья другими металлами и неметаллическими приделками, увеличивает металлургический выход, обеспечивает удобство транспортировки и загрузки шихтовых материалов в печь.

Все эти мероприятия уменьшают себестоимость готовой продукции и время на ее получение.

**Разработка методов повышения качества алюминиевых сплавов  
с использованием компьютерных технологий**

Билиба Н.Э., Довнар Г.В., Лущик П.В.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня в мире насчитывается более десяти систем автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП). Специалистам хорошо известны немецкая программа Magma и американская Procast, в этом же ряду нужно упомянуть американскую SolidCast, финскую CastCAE и немецкую WinCast. Две разработки – «Полигон» и LVMFlow – имеют российское происхождение.

Каждое предприятие при выборе литейной программы должно четко осознавать, что оно хочет получить в результате ее использования. Чаще всего, задача стоит в устранении незначительной усадочной пористости, которая проявляется только на рентгеновских снимках. С этой задачей могут справиться лишь некоторые программы. В этом случае технолог может позволить уделить моделированию не одну неделю, чтобы получить качественную отливку. В связи с этим, остановимся на принципиальном отличии всех литейных программ – математический метод для решения разностных уравнений.

**Математический метод**

**Метод Конечных Разностей.** Используется в таких программах как Magmasoft, SolidCast, CastCAE, JSCAST, AnyCasting и др., позволяет в кратчайшие сроки получить распределение усадочных дефектов в проектируемой отливке и вовремя исправить технологию.

**Метод Конечных Элементов.** Используется в таких программах как Полигон, ProCast, WinCast и т.д., позволяет максимально учесть геометрию отливки и выявить даже незначительные дефекты. Однако, сложность применения МКЭ заключается в подготовке исходных данных для проведения компьютерного моделирования, которая может занять несколько дней и даже недель на один расчет. Связано это с разбиением исходной геометрической модели отливки на конечные элементы (чаще всего – тетраэдры).

**Метод Контрольных Объемов.** Используется в таких программах как Flow-3D, LVMFlow, сочетает в себе простоту и факторизацию МКР и хорошую аппроксимацию границ между различными материалами и различными фазами. Это позволяет проводить моделирование максимально быстро, не теряя при этом точности расчетов

**Рациональная технология модифицирования  
силуминов стронцийсодержащими лигатурами**

Бежок А.П., Финогентов Д.П.

Белорусский национальный технический университет

Весомым резервом в повышении механических свойств силуминов является модифицирование, которое прочно вошло в практику цветнолитейного производства. Из известных более 40 элементов-модификаторов эвтектики силуминов, в странах СНГ и Республике Беларусь широко применяется натрий, который вводится в расплав в виде универсальных или модифицирующих флюсов. В промышленно развитых странах силумины модифицируют стронцием. Обладая модифицирующим действием подобно натрию, стронций обеспечивает длительный модифицирующий эффект, сохраняющийся несколько часов и даже при повторных переплавах. Это позволяет автоматизировать процесс заливки и исключить вредное влияние фторидов и хлоридов на природу и человека, так как стронций вводится в расплав в виде лигатур.

На основе анализа существующих вариантов диаграмм состояния алюминий-стронций и качества выпускаемых промышленных лигатур обоснован выбор состава лигатуры с 10-процентным содержанием модифицирующего компонента и разработаны наиболее рациональные способы её получения на базе поставляемой промышленной лигатуры Al-30%Sr. Установлено, что максимальное измельчение алюминидов стронция до 5 мкм обеспечивает прокатка лигатурного расплава из жидкого состояния, но это приводит к усложнению технологии получения лигатуры и загрязнению ее оксидными пленами. Высоким качеством обладает лигатура, получаемая путем заливки в кокиль пластин толщиной 5 мм со скоростью охлаждения  $\sim 80^\circ\text{C}/\text{с}$ . При этом средний размер включений  $\text{SrAl}_4$  составляет  $\sim 20$  мкм против 480 мкм у промышленной лигатуры.

Различие в степени измельчения включений эвтектического кремния сплава АК12оч и переохлаждения при эвтектической кристаллизации в случае равенства скоростей охлаждения расплава, определяется степенью усвоения модификатора, которая зависит от скорости нагрева лигатуры в расплаве, температуры плавления и кинетики ее растворения. Поэтому для полного растворения и усвоения расплавом лигатур с высокими скоростями охлаждения требуется меньше времени, что и сокращает характерный для стронциевых лигатур «инкубационный» период до 15 минут при сохранении достаточного времени их «живучести».

**Анализ диффузионных процессов на границе раздела структурных составляющих алюмоматричных композиций системы Al/SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривая металлургические жидкофазные и жидко-твердофазные процессы получения АКС с использованием кремнезема, можно допустить, что граница раздела фаз (Al, SiO<sub>2</sub>) является идеальной только в начальный момент времени контакта атомов алюминия с поверхностью оксидной фазы SiO<sub>2</sub>. Под воздействием высокой температуры, ввиду высокой диффузионной подвижности, атомы алюминия в расплаве мигрируют через границу раздела Al/SiO<sub>2</sub> в направлении оксидной фазы, и, вступая в химическое взаимодействие с молекулами SiO<sub>2</sub>, формируют новый молекулярный слой Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на поверхности оксидной фазы SiO<sub>2</sub>.

В соответствии с представлениями о диффузии движение атомов алюминия может осуществляться по вакансионному (путем обмена с подошедшей вакансией), межузельному (путем выталкивания собственных атомов неметаллической фазы в междоузлие) или смешанному вакансионно-межузельному механизму. Образование Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> из кремнезема сопровождается кардинальными изменениями кристаллической решетки и повышением концентрации дефектов кристаллической структуры. Последнее, в свою очередь, приводит к существенному повышению диффузионной активности алюминия, способствуя перемещению атомов металла вглубь оксидной фазы.

Принимая, что в начальный момент взаимодействия расплава алюминия с оксидной фазой SiO<sub>2</sub> концентрация атомов алюминия в последней равна нулю и на межфазной границе составляет 100%, были рассчитаны концентрационные профили по сечению сферической оксидной фазы кремнезема при различных значениях коэффициента диффузии алюминия через мономолекулярный Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-слой в диапазоне от  $5 \cdot 10^{-7}$  до  $7,5 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с (коэффициент диффузии алюминия в кремнеземе  $D_{\text{SiO}_2} = 10^{-17}$  см<sup>2</sup>/с) с учетом различного времени выдержки композиции.

Анализ полученных результатов показал, что расчетные значения концентраций алюминия в центре дисперсных оксидных частиц АКС при значениях коэффициента диффузии алюминия в диапазоне  $10^{-6}$ – $2,5 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с через Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-слой, образующийся на границе раздела «алюминий–кремнезем», согласуются с полученными экспериментальными данными о процессах физико-химического взаимодействия компонентов АКС системы Al/SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Михальцов А.М., Лешко А.В.

Белорусский национальный технический университет

В современной структуре машиностроительного комплекса Республики Беларусь чугунолитейные вагранки занимают одну из лидирующих позиций при производстве чугунных отливок. Традиционным топливом для вагранок является кокс литейный, удельный расход которого достигает 16% от металлозавалки. При этом стоимость кокса составляет 11% от себестоимости производимой продукции.

Рост цен на кокс и другие шихтовые материалы (чугун литейный, лом чугунный) вынуждает предприятия искать новые технические решения для процесса плавки чугуна в вагранке. Одним из таких решений является использование кислорода для обогащения ваграночного дутья.

На практике используют два способа подачи кислорода в вагранку. Первый – это обогащение дутья путем подачи кислорода в воздушный коллектор или непосредственно в фурмы. Преимущество данного способа в простоте и низкие затраты на оборудование. Однако при использовании данного способа наблюдается существенное повышение температуры в районе фурм, что может привести к прогару футеровки и аварийной остановке вагранки. Повышенные температуры в районе фурм принуждают использовать дорогостоящие огнеупорные материалы. Второй способ – подача кислорода через встроженные в фурмы сопла Лавля. При корректном расчете сопла создают концентрированные струи, достигающие оси вагранки, обеспечивая, таким образом, равномерное распределение кислорода по фронту горения кокса. Это создает условия не только для равномерного распределения тепла, но и для общего повышения температурного фона, что повышает термический коэффициент полезного действия вагранки. В целом, подача кислорода через сопла Лавля обеспечивает:

- получение расплава чугуна с температурой на желобе 1550 °С;
- уменьшение расхода кокса до 10-11% от металлозавалки;
- снижение количества дорогостоящего литейного чугуна в составе шихты до 50% за счет увеличения доли стального и чугунного лома;
- увеличение науглероживания чугуна непосредственно из кокса;
- снижение угара кремния и марганца;
- стабилизацию химического состава чугуна;
- уменьшение «чувствительности» вагранки к частым и длительным простоям, простота в обслуживании.

Указанные основания являются решающими при модернизации вагранок промышленных предприятий.

**Получение и физико-механические свойства вспененного теплоизоляционного материала на основе шунгита**

<sup>1</sup>Цыганов А.Р., <sup>2</sup>Ломоносов В.А., <sup>1</sup>Панасюгин А.С.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

Интерес к технической продукции из пеносиликатных материалов значительно вырос в последнее время. Это обусловлено, прежде всего, наличием у них целого спектра полезных свойств, основными из которых являются относительно малый удельный вес изделия, негорючесть (пожаробезопасность), не токсичность, экологическая чистота производства и, как следствие, широкий диапазон применения.

В данной работе нами рассмотрена принципиальная возможность использования в качестве наполнителя шунгитовых пород при получении вспененных теплоизоляционных материалов.

По своей структуре шунгит является природным композитом, который имеет объемную структуру, сформированную оксидом кремния в дефектные полости которой встроены частицы углерода.

Проведенные эксперименты показали, что введение в сырьевую смесь из жидкого стекла в качестве наполнителя шунгита обеспечивает получение материала при температуре вспучивания 360–450 °С, для которого характерны более однородная микроструктура и высокие значения прочности на сжатие.

Установлено, что присутствие наполнителя в составе жидкостекляной композиции приводит к частичному разложению жидкого стекла с выделением кремнегеля и переходом воды из адсорбционного и хемосорбционного состояния в свободное.

Показано, что уменьшение количества воды в структуре композиции в силу химических процессов, а также удаления свободной воды при отверждении пиропластической массы приводит к некоторому снижению коэффициента вспенивания материала.

Такая продукция может быть использована в качестве элементов в многослойных ограждающих конструкциях, противопожарной защите, для теплоизоляции различных видов технологических и бытовых печей либо другого термического оборудования промышленного назначения.

**Синтез твердоэлектролитных мембран  
для электрофильтрационной установки очистки воды от бактерий,  
созданной на их основе**

<sup>1</sup>Цыганов А.Р., <sup>2</sup>Ломоносов В.А., <sup>1</sup>Панасюгин А.С., <sup>3</sup>Павловский Н.Д.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

<sup>3</sup>Гродненский государственный медицинский университет

При разработке безреагентных способов очистки водных сред от коллоидно-дисперсных систем наиболее перспективным представляются методы с использованием процесса электрофильтрации. Основным функционально-технологическим элементом любой электрофильтрационной установки, является электрохимический реактор, важнейшим звеном которого выступает полупроницаемая мембрана. Повышение эффективности процесса электрофильтрации возможно за счет модифицирования структурных и физико-химических свойств материала полупроницаемых мембран, а также использования электродов на основе твердых растворов электролитов редкоземельных элементов.

Показано, что эффективность удержания бактерий в электрофильтрационных процессах в значительной мере зависит от величины напряженности электрического поля и размера пор применяемого фильтра. Установлено, что водно-дисперсионные системы, содержащие различного размера бактерии, удерживаются при электросорбционных процессах в порах металлокерамических мембран превышающих на порядок размеры биологических объектов. Наличие инертной непроводящей диэлектрической загрузки между электрофильтрующими проводящими элементами в значительной мере увеличивает эффективность удерживания микроорганизмов из водных растворов.

В результате исследования установлено, что при скорости фильтрации 10 мл/мин, оптимальное время проведения процесса составило 10 мин, при этом концентрации бактериальных клеток в фильтрате уменьшалась в 4-8 раз в зависимости от вида бактерий. Уменьшение скорости фильтрации до 1 мл/мин приводит к увеличению продолжительности процесса, но позволяет за 50 мин получить фильтрат, очищенный от бактериальных клеток *Escherichia coli* и за 200 мин от *Saccharomyces cerevisiae*.



**Способ получения быстроохлажденных гранул на основе железа**

Шейнерт В.А., Слущкий А.Г., Калиниченко В.А., Кулинич И.Л., Сметкин В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Одним из наиболее распространенных методов получения многослойного металла является, так называемое, литое плакирование - заливка жидким металлом твердых армирующих элементов, предварительно размещенных и закрепленных в литейной форме. В качестве нерасплавляемых элементов структуры композиционных материалов использовались тугоплавкие металлы (сплавы), а в качестве расплавляемых матриц - металлы и сплавы с более низкими температурами плавления.

Применение чугунных гранул позволит не только снизить стоимость материала, но и обеспечить заданный уровень физико-механических свойств композита. Был модернизирован узел лабораторной установки, используемой для получения быстроохлажденного комплексного модификатора (рисунк).

Жидкий чугун из разливочного ковша через металлоприемник 1 с огнеупорным тиглем 2, имеющим отверстие в донной части попадает на вращающийся гранулятор 8, где дробится на капли, которые отбрасываются к стенкам корпуса в слой воды, образуемый вращением крыльчатки. Капли жидкого металла в виде гранул после охлаждения скатываются в нижнюю часть корпуса установки, откуда происходит их выгрузка.

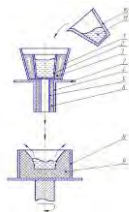


Схема узла для литья чугунных гранул

Для гарантированного попадания струи жидкого чугуна из ковша в центр вращающегося гранулятора предусмотрен специальный металлоприемник, состоящий из огнеупорного тигля с отверстием в донной части. Это обеспечивает равномерную подачу жидкого чугуна из тигля через нижний направляющий патрубок 4, состоящий из стального корпуса, кварцевой трубки и огнеупорной набивки.

По такой технологической схеме в лабораторных условиях выполнены эксперименты и изготовлены опытные партии чугунных гранул.

## Исследование процесса высокотемпературного синтеза силицидов

Ковалевич Э.В., Слуцкий А.Г., Иванов А.И., Пронькина А.Ю.  
Белорусский национальный технический университет

Традиционные способы получения многокомпонентных мишеней характеризуются рядом серьезных недостатков, таких как: высокая остаточная пористость мишеней, избыточное содержание примесей, необходимость использования в ряде случаев дорогого и сложного оборудования. Перспективным представляется метод металлотермического восстановления компонентов. Основное значение металлотермии состоит в получении безуглеродистых металлов и сплавов, необходимых в ряде производств. Ранее выполненные термодинамические расчеты показали, что применение алюминия в качестве восстановителя позволяет осуществлять процесс в большинстве случаев без внешнего подогрева. В лабораторных условиях по разработанной методике, проведены предварительные эксперименты высокотемпературного синтеза силицидов. Были выполнены расчёты термичности исходных смесей, подобраны их составы для восстановительной плавки результаты, которых представлены в работе. На основе проведенных экспериментов подтверждена реальная возможность получения силицидов системы никель-кремний-титан. В качестве основных компонентов смесей использовались порошки оксида никеля и титана, измельченная лигатура силикокальция, содержащая различное количество кальция. При этом основным восстановителем был порошок алюминия. В таблице представлены результаты восстановительных плавки силицидов данной системы.

Составы восстановительных смесей и результаты плавки силицидов

№ смеси	Состав восстановительной смеси, %					Восстановитель Al, г	Температура подогрева, °C	Металлургический выход, %
	NiO	CuO	CK15	CK30	TiO <sub>2</sub>			
1	43	–	14	–	43	18	600	92
2	43	–	–	14	43	15	600	92

Дальнейшие исследования процесса получения силицидов будут направлены на оптимизацию количества вводимого в состав смеси основного восстановителя, а также использования технологической оснастки, позволяющей минимизировать поступление в слиток углерода.

## **Причины потери металлургической ценности стальной углеродистой и чугунной стружки**

Лукашенко К.А., Довнар Г.В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе переплава стальной углеродистой и чугунной стружки литейщики и металлурги сталкиваются с двумя основными проблемами:

- 1) ухудшение экологического параметра плавки в связи с загрязнённой маслосодержащими жидкостями;
- 2) понижение выхода годного металла из-за воздействия коррозионных процессов.

И если первая проблема заложена в самом способе получения стружки (ввиду сухого трения), то вторая – сопровождает её на всех этапах: образование, хранение, подготовка к переплаву, нагрев в плавильном агрегате.

На каждом из этих этапов коррозия может иметь свой механизм протекания: атмосферный, электрохимический, высокотемпературный.

*Атмосферная коррозия.* Использование охлаждающих жидкостей и низких скоростей процесса образования лимитируют ширину протекания окислительных реакций. Однако в условиях хранения на открытом воздухе под воздействием нестабильных атмосферных факторов данный вид коррозии может значительно интенсифицироваться.

*Электрохимическая коррозия.* Такой механизм получает развитие при выпадении осадков в виде слабого электролита. Это обусловлено вредными выбросами предприятий и автомобилей в атмосферу и их последующее соединение с водой. Химическая неоднородность стружки в сочетании с электролитом на поверхности способствует образованию гальванических элементов и как следствие – окислению.

*Высокотемпературная коррозия.* Проявляется в процессе нагрева в окислительной среде при сушке, горячем брикетировании, нагреве в плавильных печах. Процесс значительно интенсифицируется при температурах от 750 °С, независимо от времени воздействия и наличия маслосодержащих жидкостей.

Слущкий А.Г., Кулинич И.Л., Белый А.Н., Ленкевич С.А., Шевчук В.Ю.  
Белорусский национальный технический университет

В основу технологии получения высокопрочных чугунов положена внепечная обработка жидкого расплава лигатурами. При этом актуальной задачей является повышение их эффективности за счет более полного усвоения меди и магния, снижения удельного расхода присадки, и минимизации пылегазовых выбросов в процессе сфероидизирующей обработки жидкого чугуна. Одним из путей решения данной задачи является использование более эффективных лигатур, обеспечивающих максимальное усвоение меди и магния при минимальном расходе присадки, а также снижение пылегазовых выбросов в процессе сфероидизирующей обработки жидкого чугуна. Для этих целей в практике производства ВЧ используются различные магнийсодержащие лигатуры.

В настоящей работе исследованы особенности получения и применения лигатуры на основе меди и магния. В качестве исходных материалов использовали порошки чистой меди и магния. Ранее выполненные исследования показали, что для обеспечения равномерного распределения элементов в объеме лигатуры требуется перемешивание исходных компонентов в течение не менее 6 часов с последующим брикетированием с усилием до 25 тонн.

Опыты показали, что при внепечной сфероидизирующей обработке высокопрочного чугуна с использованием брикетированной лигатуры на основе меди эффективность ее растворения жидким расплавом не достаточно высокая. С целью активизации процесса обработки расплава, был предложен способ деформации брикетированной лигатуры, направленный на получение пластин толщиной 1,5–2 мм. Прокатка брикетов лигатуры через горизонтальные лабораторные валки не дала положительных результатов. Поэтому был использован вариант высокоскоростной ударной деформации брикетов и получены образцы лигатуры в виде тонких пластин «чипсов».

В лабораторных условиях проведены испытания «чипс»-лигатуры при получении высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Сфероидизирующая обработка чугуна производилась в ковше добавкой лигатуры в количестве 0,8 % к весу жидкого металла.

На полученных образцах выполнены исследования химического состава, структуры и механических свойств.

Установлено, что использование лигатуры на основе меди и магния позволило осуществить эффективное сфероидизирующее модифицирование и получить высокопрочный чугун марки ВЧ 60 без вторичного графитизирующего модифицирования.

**Получение литой фибры для армирования бетонных конструкций**

Шейнерт В.А., Галузо О.Г., Кулинич И.Л.  
Белорусский национальный технический университет

Высокие темпы развития строительного комплекса нашей Республики не могут не вызвать и структурной перестройки в части широкого применения монолитного железобетона с дисперсным армированием стальной фиброй. К таким строительным конструкциям можно отнести сваи, дорожные, тротуарные и аэродромные плиты, ограждения лоджий и балконов, банковских хранилищ и т. д.

В основу технологии получения стальной литой фибры положен способ электроплавки стали с последующим диспергированием расплава на специальной установке. Она представляет из себя электромеханический комплекс устройств и агрегатов, позволяющий производить конечную продукцию непосредственно из исходной шихты в одну стадию. Например, можно получать из стальной катанки (Ст.08кп, Ст20) литую фибру высокой дисперсности (размер частиц: толщина  $1 - 10 \cdot 10^{-5}$  м, длина  $3 - 20 \cdot 10^{-5}$  м) с развитой поверхностью частиц.

Процесс получения литой стальной фибры на экспериментальной лабораторной установке сводится к следующему: при подаче электрического напряжения питания от источника тока между расходуемым стальным электродом и графитовым диспергатором возбуждается дуговой разряд. Тепло выделяемое дугой прогревает диспергатор и расплавляет расходуемый электрод, металл которого стекает на поверхность вращающегося стакана графитового диспергатора, приобретает необходимую скорость и дробится на капли, которые отбрасываются на поверхность кристаллизатора, приводимого электродвигателем во вращение вокруг вертикальной оси через шпиндель, 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.

Это позволяет получать из стального холоднокатаного прутка (Ст.08кп, Ст20) литую фибру высокой дисперсности с развитой поверхностью частиц. Однородный гранулометрический состав фибры обеспечивается автокалибровкой в процессе ее изготовления. А физико-механические свойства получаемого материала позволяют эффективно смешиваемость ее в бетоне без образования «ежей», с равномерным распределением фибры по объему. Использование вторичных металлических материалов при производстве такой фибры существенно сокращает затраты на ее производство.

**Исследование технологических параметров литья  
колес грунтовых насосов на основе имитационного моделирования  
технологических процессов**

Андриц А.А., Лущик П.Е., Долгий Л.П., Лущик Т.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Колеса грунтовых насосов изготавливаются литьем из износостойких сплавов и в настоящее время проблеме повышения надежности этого вида оборудования уделяется повышенное внимание в связи с необходимостью поддерживать и развивать производство отечественного насосного оборудования. Износостойкость элементов современных отечественных грунтовых насосов в разы меньше износостойкости элементов насосов ведущих стран-производителей. Известно, что выбор способов повышения износостойкости непростая задача, обусловленная зависимостью не только от используемых материалов, но и от конструкционных особенностей и условий эксплуатации получаемых изделий. В настоящее время известны следующие основные способы повышения износостойкости: изготовление деталей из сталей и чугунов специальных марок; применение для них особых видов термообработки и способов упрочнения; нанесение электронаплавочных или химико-термических покрытий; применение гуммирования, т. е. защита быстрознашивающихся поверхностей резиновой футеровкой и т. д.

Исходя из вышесказанного, целью работы является исследование технологических параметров получения износостойких элементов грунтовых центробежных насосов и подбор состава сплава на основе имитационного моделирования технологических процессов.

В качестве износостойкого материала для изготовления рабочих деталей грунтовых насосов широко применяется высокохромистый чугун с никелем ИЧХ28Н2 (27-30% хрома, 1,5-0,3% никеля), а также легированные стали с последующей термической обработкой, в результате чего получают детали с высокой механической прочностью и износостойкостью. Также, до сих пор достаточно широко применяют отливки из обычных среднеуглеродистых сталей марок 35Л и 55Л с очень низкой твердостью. На основе имитационного моделирования технологических процессов был проведен расчет заполнения и затвердевания типовой отливки колеса грунтового насоса из вышеперечисленных сплавов, а также расчет распределения структурных составляющих. В результате анализа получены зависимости микроструктуры и распределения дефектов от технологических параметров литья.

**Исследование технологических параметров получения литейной оснастки методом точного литья**

Андриц А.А., Лущик П.Е., Долгий Л.П., Лущик Т.Н.  
Белорусский национальный технический университет

В работе, с использованием средств компьютерного проектирования и моделирования литейных процессов был разработан комплект литейной оснастки для изготовления отливок «Заборник». Также с использованием аппаратного и программного обеспечения для термического анализа проведено изучение процесса затвердевания отливок из доэвтектических силуминов, используемых для получения отливки «Заборник».

На первом этапе был проведен анализ технологии изготовления отливки «Заборник» с использованием имитационного моделирования с целью определения оптимального расположения отливки в форме и подбора литниковой системы.

На основании полученных результатов были разработаны компьютерные модели оснастки, включающие металлическую форму (кокиль), состоящую из двух полуформ, а также форму для изготовления песчаных стержней.

Разработанная оснастка учитывает особенности усадки отливки для точного повторения геометрических параметров, предъявляемых к данному классу литья.

Ввиду того, что отливки «Заборник» изготавливаются из сплава АК9ч, имеющего относительно высокие требования по содержанию примесей, было принято решение о проведении контроля расплава методом термического анализа с использованием программно-аппаратного комплекса для термического анализа.

Процесс контроля сплавов на наличие примесей проводился с использованием тестовых наборов экспериментальных данных термического анализа, полученных при проведении опытных плавок из различных партий. Экспериментальные данные термического анализа основаны на выявлении на кривые охлаждения характерных участков и точек, соответствующих протекающим фазовым превращениям. Последние, в свою очередь, жестко связаны с химическим составом сплава, содержанием растворенных газов, примесей, металлургической наследственностью сплава.

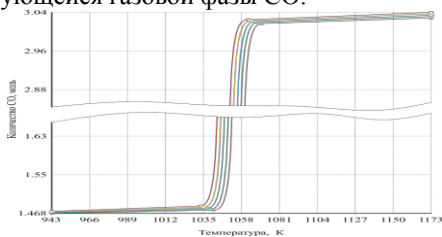
Использование вышеуказанного оборудования и программного обеспечения позволило с высокой вероятностью определять наличие нежелательных примесей в расплаве и принимать решения о снижении их негативного влияния по ходу плавки.

**Термодинамика поведения карбоната кальция в расплаве алюминия**

Лавринчик Е.Г., Задрущий С.П., Константинович А.И.  
Белорусский национальный технический университет

С целью снижения содержания примесей и газов для повышения качества алюминиевого литья, а также улучшения механических свойств изделий, расплав перед разливкой необходимо рафинировать. Большинство рафинирующих процессов сопровождается выделением токсичных веществ, что приводит к ухудшению экологической обстановки. Одним из наиболее безвредных препаратов для проведения процессов рафинирования является карбонат кальция.

Для реализации технологии рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия карбонатом кальция представляло интерес проведение термодинамического анализа вероятных химических и фазовых превращений в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{Al}$  при различных температурах и давлениях. Исследуемый температурный диапазон и область давлений выбирались исходя из реальных производственных условий. Температура рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия, как правило, находится в пределах 943 – 1173 К, а давление 101,33 – 124,64 кПа. Полный термодинамический анализ свидетельствует о протекании реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} = 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  в сторону образования окиси углерода, причем с повышением температуры и снижением давления данная реакция становится более термодинамически выгодной. Об интенсивности протекания изучаемой реакции можно судить по количеству образующейся газовой фазы  $\text{CO}$ .



Зависимость количества выделяющегося  $\text{CO}$  при равновесии реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  от температуры на различной глубине в расплаве алюминия:

—○— 0 м; —□— 0,25 м; —◇— 0,5 м; —▽— 0,75 м; —×— 1 м

Термодинамический анализ показал, что существуют области интенсификации взаимодействия карбоната кальция с алюминием при определенных давлениях и температурах.



## Влияние дисперсности частиц карбоната кальция на кинетику взаимодействия $\text{CaCO}_3$ с расплавом алюминия

Задруцкий С.П., Лавринчик Е.Г., Константинович А.И.  
Белорусский национальный технический университет

В процессе рафинирования алюминия карбонатом кальция взаимодействие происходит на границе раздела фаз.

При уменьшении размера частиц, увеличивается удельная поверхность системы. Интенсивность газообразования при взаимодействии порошкообразного карбоната с компонентами расплава силумина во многом зависит от поверхности контакта частиц и жидкости, так как реакция будет проходить на поверхности частиц  $\text{CaCO}_3$ .

Важнейшим следствием увеличения дисперсности является возрастание удельной реакционной способности твердых тел. На примере двух монодисперсных порошков карбоната кальция, состоящих из сферических частиц с разными радиусами, была произведена оценка реакционной способности систем. Проведенные расчеты свидетельствуют о том, что при уменьшении размеров частиц возрастает реакционная способность или физико-химическая активность:

$$-RT \ln \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = -RT \frac{3M\sigma}{RTd} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right);$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы двух сферических частиц;

$M$  – молекулярная масса порошкообразного вещества;

$d$  – его плотность;

$\sigma$  – удельная поверхностная энергия;

$K_{p1}$  и  $K_{p2}$  – константы равновесия диссоциации для порошков с радиусом частиц  $r_1$  и  $r_2$ .

Таким образом, диспергирование карбонатной составляющей системы  $\text{CaCO}_3\text{-Al-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}$  повлечет за собой увеличение реакционной способности, а соответственно позволит управлять кинетическими характеристиками реакции  $\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} = 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  путем изменения фракционного состава порошка  $\text{CaCO}_3$ .

**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**

<sup>1</sup>Демьянчик Г.А., <sup>2</sup>Горохов В.М., <sup>2</sup>Киреев П.Н., <sup>1</sup>Голубцова Е.С.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>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/мм<sup>2</sup>.

Гольцова М.В.

Белорусский национальный технический университет

Любые энергетические проекты предусматривают в том или ином виде использование термодинамически открытых систем Me-H, поэтому изучение взаимодействия водорода и его изотопов с металлами не теряет своей актуальности. При этом системы Me-H - 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.

Большинство систем Me-H обладают сложными диаграммами состояния, что затрудняет их экспериментальные исследования. Система Pd-H стоит особняком в ряду систем Me-H не только из-за уникальной способности палладия пропускать водород, но и благодаря относительной простоте ее диаграммы состояния, что дает возможность использовать палладий в качестве модельного материала для исследований основных закономерностей взаимодействия водорода с металлами.

Поскольку внедренный атом водорода расширяет кристаллическую решетку металла, в кристаллической решетке возникает упругое (деформационное) дальнедействующее взаимодействие атомов водорода. При возникновении в металле градиентов концентраций водорода возникают и градиенты расширения кристаллической решетки, что в итоге приводит к появлению внутренних напряжений, индуцированных водородом. Такие напряжения принято называть водородными концентрационными (ВК) напряжениями. В случае, когда ВК-напряжения не превышают предела текучести металла, говорят о явлении водородоупругости. Оно проявляется на практике «внешне» совершенно различными экспериментальными эффектами. В одних случаях на первый план выступают диффузионные аспекты явления водородоупругости, обусловленные развитием восходящей диффузии водорода: замедление гидридных фазовых превращений, возможность достижения термо-бароупруго-диффузионного равновесия превращающихся фаз, эффект Льюиса и др. В других на первый план выступают механические проявления водородоупругости: обратимое и необратимое формоизменение (коробление) металлических изделий.

Для изучения механических проявлений водородоупругости при одноосном насыщении палладия водородом использовали палладиевую пластину размерами (68x5,5x0,27 мм), предварительно отожженную при 700°C в тече-

ние 60 минут и затем охлажденную с печью. Одну сторону отожженного образца электролитически покрывали медью. Для исследований использовали экспериментальную водородо-вакуумную установку ВВУ-4, которая позволяет изучать формоизменение консолюно закрепленной палладиевой пластины при температурах до 360°C и при давлениях водорода от 0,01 МПа до 2,5 МПа. Важно, что эксперименты всегда осуществляли в изотермических условиях и вели регистрацию изменения стрелы прогиба образца через кварцевое окно с помощью катетометра с одновременной видеозаписью процесса формоизменения образца в реальном времени. Методика подготовки образцов, экспериментальная установка ВВУ-4 и методика проведения экспериментов достаточно подробно описаны в обзорной работе по систематическим исследованиям формоизменения палладиевой пластины [1].

Полученные в экспериментах видеозаписи анализировали в специализированных программах для обработки видеозаписей кадр за кадром. Ошибка измерения времени составляла  $\pm 0,04$  с. Ошибка измерения положения свободного конца пластины составляла  $\pm 0,03$  мм. Таким образом, было изучено коробление палладиевой пластины её одностороннем насыщении водородом при 240°C 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.

### **Литература**

Гольцова М.В., Любименко Е.Н. Экспериментальные особенности и феноменологическая модель формоизменения палладиевой пластины при её одностороннем насыщении водородом. // Альтернативная энергетика и экология, 2014, №1 (141), с.152-166.

**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 влияние 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/см<sup>2</sup> 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/см<sup>2</sup>) 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.



**Структурные изменения в сплавах титан-кремний  
под действием вакуумной дуги**

Иванов И.А.

Белорусский национальный университет, г. Минск

Структурные изменения в поверхностных слоях катодов-мишеней, вызванные термическим воздействием катодных пятен вакуумной дуги существенно влияют на эмиссионные свойства катодов и формирование состава ионного потока вакуумных дуговых устройств. В работе кратко обсуждаются результаты исследования структурных изменений в сплавах титан-кремний, происходящих под действием вакуумной дуги. Толщина формируемого поверхностного слоя колеблется в широких пределах. Для тугоплавких металлов составляет несколько микрометров (для молибдена 3-5 мкм). Однако на катодах из сплавов титан-кремний с содержанием кремния 80 ат.% её величина составляет 20-35 мкм, а для сплавов с 92 ат.% кремния толщина модифицированного слоя достигает 100 мкм. Глубина структурных изменений коррелирует с теплофизическими свойствами сплавов и механизмом их испарения, который зависит от содержания кремния. Проведенный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ показал, что преимущественное испарение с поверхности катода одного из элементов наблюдается только у сплавов, испаряемых в тепловых катодных пятнах. Однако исследование распределения элементов по сечению модифицированного поверхностного слоя не позволяет выявить в нем наличие градиентов концентраций. Структура модифицированного слоя не только отличается от структуры и состава исходного сплава, но и меняется с ростом содержания в сплаве кремния. Результаты исследований, проведенные с использованием растрового электронного микроскопа и аппаратуры для микрозондового рентгеновского анализа показали, что модифицированный слой на сплавах с низким содержанием кремния имеет равномерную структуру и состоит из дисилицида и нижшего силицида титана. С увеличением содержания кремния в катоде структура слоя становится более неравномерной по глубине. Ближе к поверхности эрозии модифицированный слой представляет сплав эвтектического состава без каких-либо включений. При приближении к границе раздела модифицированный слой - исходный сплав появляется вторая фаза с гипотетической формулой  $Ti_2Si_7$ . Таким образом, при формировании модифицированного слоя наблюдается сдвиг фазового состава влево по диаграмме состояний и образование неравновесных соединений. В составе модифицированного слоя, формирующегося на сплавах с содержанием кремния более 88ат.%, происходит образование кристаллов свободного кремния.

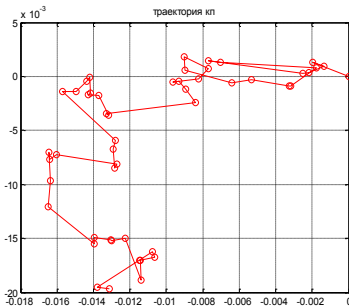
## Применение метода Монте-Карло к расчету траектории движения катодного пятна вакуумной дуги

Иванов И.А.

Белорусский национальный университет, г. Минск

Движение катодного пятна вакуумной дуги по поверхности эродирующего катода является дискретным. Новое катодное пятно наиболее вероятно образуется на границе отмирающего. Скорость движения прямо пропорциональна радиусу катодного пятна и обратно пропорциональна его времени жизни:  $V \sim f(r_k, \tau^{-1})$ . Вероятность возникновения нового катодного пятна на расстоянии  $X$ , большем или много большем радиуса катодного пятна  $r_k$ , мала и резко уменьшается с увеличением  $X > r_k$ . Проведенные ранее экспериментальные исследования показывают, что средний квадрат смещения катодного пятна прямо пропорционален времени его движения (при условии, что время движения  $t$  много больше времени жизни единичного катодного пятна  $\tau$ ).

Для описания хаотичного движения пятна используется такая характеристика как коэффициент диффузии катодного пятна:  $D_m = \frac{r_x^2}{4t}$ , где  $r_x$  среднее единичное смещение катодного пятна по поверхности катода. Для большинства случаев можно считать, что  $r_x = r_k$ . Тогда новую координату центра катодного пятна можно определить:



где  $\gamma$  - случайная величина, генерируемая процедурой `rand`. Направление движения катодного пятна (задаваемого углом  $\phi$ ) является равновероятным. В данном подходе можно не привязываться к временным параметрам процесса. Моделирование процесса будет состоять в выборе: а) направления движения катодного пятна; б) расстояния, на которое пятно перемещается за один шаг. Независимо от скорости движения катодного пятна по поверхности электрода, пятно меняет своё положение дискретно на фиксированное (или почти фиксированное) расстояние. Пример расчета траектории катодного пятна приведен на рисунке.

$$X = X_0 - \left( \frac{1}{D_m} \right) \ln(1 - \gamma),$$

где  $\gamma$  - случайная величина, генерируемая процедурой `rand`.

**Порошки для магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей**<sup>1</sup>Филипчик А.В., <sup>2</sup>Бабич В.Е., <sup>2</sup>Лебедев В.Я.<sup>1</sup> Белорусский национальный университет, г. Минск,<sup>2</sup> Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

В качестве ферроабразивных порошков применяют достаточно большое количество материалов, которые имеют разные физические и специальные свойства. Предложено несколько классификаций ФАП. 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 в значительной степени 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. Основными геометрическими параметрами, определяющими режущую способность ферроабразивного зерна, являются форма зерен, число вершин (режущих кромок), углы при вершинах и радиусы округления вершин.

У зерен ФАП, как правило, отсутствует правильная геометрическая форма. Среди них встречаются зерна, подобные октаэдру, тригональному трапецоиду, ромбическому тетраэдру, трехгранной призме, шаровидным многогранникам и т.д. Некоторые зерна бывают удлинёнными, иглообразными, мечевидными, пластинчатыми. Форма зерен ФАП зависит от материалов магнитной и абразивной составляющих, технологии его получения,

зернистости и других факторов. Можно выделить три типовые формы зерен, которые определяются прежде всего способом их изготовления:

- осколочные зерна, полученные в результате размола гранулированных расплавленных материалов, которые имеют практически беспористую структуру. К порошкам с такой структурой можно отнести *ПОЛИМАМ-Т*; *ФЕРОМАП*; порошок на основе аморфного железа;

- округлые зерна, полученные в результате расплава, без последующего размола. Примерами таких порошков являются: порошок на основе *Р6М5*, *ПОЛИМАМ-М*, *ЦАРАМАМ*;

- зерна-агломераты, полученные путем спекания и последующего размола брикетов. ФАП с такой формой зерен имеют высокую пористость, незначительную механическую силу сцепления абразивной и ферромагнитной составляющей. Примером таких порошков могут быть порошки полученные по керметной технологии.

Зерна ФАП имеют различную геометрическую форму. Разница в форме зерен порошков одного состава или происхождения обусловлена способом получения, дополнительной обработкой, методом классификации и другими факторами. Необходимо иметь полную информацию про характерные размеры зерен порошков, которые используются в процессе обработки. Это связано с тем, что при МАО используют порошковые материалы с достаточно широким составом фракций: от 20 до 800 мкм.

Большинство ферроабразивных зерен имеет несколько вершин, образованных тупыми углами, с определенными радиусами их округления. Количество вершин на абразивном зерне, а также их углы и радиусы округления зависят от марки ФАП и его зернистости. Ферро-абразивное зерно, как правило, имеет несколько граней, которые образуют в пересечениях углы при вершинах. В большинстве зерен имеется несколько вершин, каждая из которых характеризуется определенным углом и радиусом округления.

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). В связи с этим одной из задач исследований было сравнение известных марок порошков и разработка рекомендаций по их выбору. На основании проведенного выше 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-Т.

## **Перспективы развития электронно-лучевых аддитивных технологий в Беларуси**

Поболь А.И., Бакиновский А.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск  
Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

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  $\text{wcut-to-fly ratio}$ . 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 настоящая 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, г. Минск

На сегодняшний день одной из основных задач промышленной отрасли является повышение качества и надежности выпускаемой продукции, так как 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, так как 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, термомолекулярного, 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, так как 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**

<sup>1</sup>Горанский Г.Г., <sup>2</sup>Хина Б.Б.

<sup>1</sup>Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Минск

<sup>2</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

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 субмикрорекристаллических 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 окислительной обработке (АО) длительностью до 60 мин, при этом доля аморфной фазы возрастала от  $\approx 80$  до 98%.

Для определения химического потенциала железа в многокомпонентной аморфной фазе  $\mu_{\text{Fe}}(\text{am})$  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  $h_{\text{Fe}}(\text{am})$  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**

<sup>1</sup>Хина Б.Б., <sup>2</sup>Горанский Г.Г.

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

<sup>2</sup>Научно-технологический парк БНТУ "Политехник", Минск

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  $\mu_i$  и парциальной молярной энтальпии  $h_i$ .

В данной работе предложена термодинамическая теория для определения величин  $\mu_i$  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  $\mu_i$  и  $h_i$ . Значения  $\mu_{Fe}$  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.

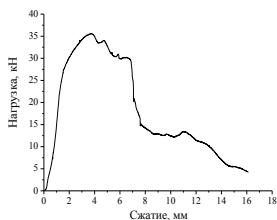
Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Минск

Цель работы - оценка степени адгезии и твердости алюминиевых покрытий, нанесенных холодным газодинамическим напылением.

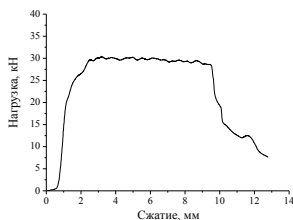
Алюминиевые порошки марок А-10-01, А-20-01, А-30-01 напылялись на стальную основу (Сталь 30) на установке ДИМЕТ-405. Температуры потока воздуха на расстоянии 10 мм от среза сопла СНК-6 на различных режимах приведены в табл. 1, диаграммы нагрузка-деформация при испытаниях адгезии покрытий, представлены на рисунке. Значения адгезии покрытий, их твердости, критической деформации переходной зоны с покрытием до разрушения  $\epsilon_k$ , пористости сведены в табл. 2.

Температуры динамического потока воздуха Таблица 1

№ режима	1	2	3	4	5
Температура $^{\circ}\text{C}$	140-165	235-245	315-340	390-415	495-510



алюминий А-10-01



алюминий А-30-01

Рисунок 1 Диаграммы нагрузка-деформация при оценке адгезии газодинамических покрытий

Механические свойства алюминиевых покрытий (толщина 10-18 мкм)

Таблица 2

№ режима	Марка порошка								
	А-10-01			А-20-01			А-30-01		
	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
$\epsilon_k$ , %	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

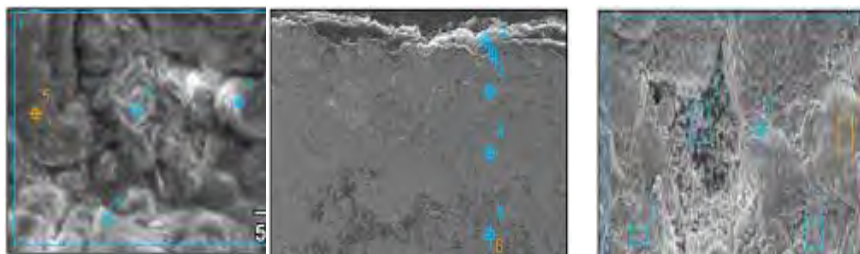
## Оценка строения и свойств алюминиевых покрытий, полученных холодным газодинамическим напылением

Ваганов В.В.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Минск

В беспористой однородной структуре покрытия (рисунок) отсутствуют окисленные по границам зерна металла, так как 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 1).



а) структура покрытия

б) включения  $Al_2O_3$

в) в покрытии

Морфология поверхности покрытия

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
$\epsilon_k$ , %	42	37	29
Пористость, %	0-1	0-3	0-3

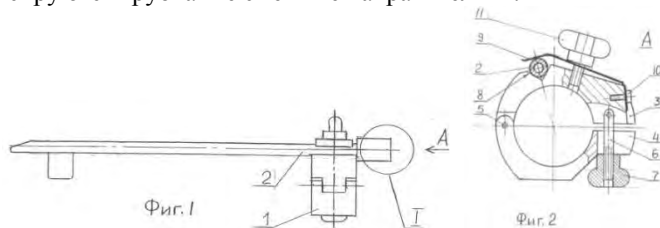
Структура и свойства покрытий управляемы варьированием состава Al порошка, температурным режимом и числом циклов напыления.

## Трубчатый адаптер ультразвукового датчика

Качанов И.В., Кособуцкий А.А., Ивановская М.И.  
Белорусский национальный технический университет  
Белорусская медицинская академия последипломного образования

При проведении тонкоигольной пункционной биопсии предстательной железы под ультразвуковым контролем возникает необходимость согласованного с ультразвуковым датчиком направления биопсийной иглы. Для этой цели разработан и изготовлен адаптер в соответствии с Евразийской заявкой на патент ЕАПО № 201500323. Авторы Качанов И.В., Кособуцкий А.А., Ивановская М.И.

Адаптер (фиг. 1) состоит из устройства 1 крепления к ультразвуковому датчику и трубчатого направителя 2. Устройство 1 (фиг. 2) состоит из скобы 3 и скобы 4, шарнирно соединённых между собой. Скобы при смыкании образуют цилиндрическое отверстие диаметром, соответствующим наружному диаметру датчика. На скобе 3 выполнен наклонный желоб 8 в котором фиксируются трубчатые сменные направители 2.



Сменный трубчатый направитель 2 представляет собой сварную конструкцию из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, состоящую из трубки с внутренним диаметром 1,6 мм, направляющей муфты 12 и фиксатора 15.

Биопсийная игла диаметром 1.6 мм должна перемещаться в трубке свободно, без люфтов и заеданий.

Разработанный трубчатый адаптер позволил реализовать в Минском городском клиническом онкологическом диспансере инновационную методику, позволяющую увеличить пропускную способность при проведении биопсий, основанную на замене сменных трубчатых направителей после каждой проведенной манипуляции на стерильные. При этом устройство крепления к датчику не требует режима стерилизации и многократной переустановки цельных адаптеров. Годовой экономический эффект от использования двух комплектов адаптеров, по отношению к импортным одноразовым, составил более 13500,0 бел. рублей.

**Инженерия поверхности износостойких слоев и покрытий, полученных с помощью высокоэнергетического воздействия**

Асташинский В.М., Пантелеенко Ф.И., Специан М.В.,  
Марукович Д.А., Мамонов А.М., Гришанов М.Я.  
Институт тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова  
Белорусский 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. Чрезвычайно высокие скорости нагрева поверхностей металлов (до  $10^6 - 10^8$  °C/c), локальность нагрева и сверхкритические (до  $10^4 - 10^6$  °C/c) на несколько порядков больше, чем охлаждение при обычной объемной закалке, скорости отвода тепла в основу металла вызывают образование неравновесных структур (от ультрадисперсного мартенсита до наноразмерных и аморфных структур). Лазерно-плазменная модификация сталей и чугунов позволяет получать высокотвердые (до 20 ГПа) и сверхпластичные наноструктуры, а также многократное (до 7 – 10 раз) увеличение износостойкости и ресурса деталей и металлоконструкций. Для получения требуемого результата (который подразумевает под собой получение необходимого типа структуры, степени ее неравновесности и уровня физико-механических свойств поверхностного слоя) необходимо учитывать целый ряд технологических параметров (плотность мощности высококонцентрированного источника энергии, продолжительность и скорость сканирования, теплопроводность, степень легированности материала).

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 сложнoleгированных аустенитных сталей, в исходной структуре которых имеются тугоплавкие первичные фазы (например, NbC и Nb(C, N) в стали Х16 Н15М3Б).

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.

Модифицирование стали 10P6M5 на «мягких» режимах (не достигая оплавления) при токах 11-15 А показало, что произошли принципиальные изменения структуры и свойств поверхности. Измененная структура поверхности состоит из двух различных по травимости и по цвету зон. Наружная слаботравящаяся (травитель – 5% раствор азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  в этиловом спирте  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) зона глубиной до 400 мкм состоящая из ультрадисперсного мартенсита и остаточного аустенита с твердостью HV 650 – 950 Н/мм<sup>2</sup> представляет собой зону закалки. Такое строение, а также отсутствие в этой зоне карбидных выделений, которые отчетливо просматриваются в сердцевине стали (светлые крупные первичные и более мелкие вторичные), свидетельствуют о том, что даже при скоростном высокоэнергетическом воздействии на сталь 10P6M5 в ней успевают произойти процессы растворения избыточных первичных и вторичных карбидов и трансформация перлитной структуры в аустенитную. Последующий интенсивный отвод тепла в основу стали обеспечивает эффект самозакалки, т.е. превращение аустенита в весьма твердый мартенсит.

Под светлой зоной закалки располагается зона термического влияния повышенной травимости толщиной 250-300 мкм, микротвердость которой плавно снижается к сердцевине с HV 650 Н/мм<sup>2</sup> до HV 300 Н/мм<sup>2</sup>, т.е. до твердости сердцевины. На основании полученных результатов можно предположить, что модифицирование стали 10P6M5 на глубину до 700 мкм и повышение микротвердости вызовет повышение износостойкости стали, что будет выявлено при дальнейших исследованиях.

Также, с целью определения возможного диапазона максимального модифицирования сталей 12X18H9T и 10P6M5 их подвергали «жесткому» высокоэнергетическому импульсно-плазменному воздействию (до оплавления поверхности) с помощью магнитоплазменного компрессора компактной геометрии МПК-КГ.

Анализ микроструктуры и микротвердости плазменно-модифицированной стали 12X18H9T показал, что как при одноимпульсном, так и при пятикратном воздействии импульсов модифицирование реализуется на глубину около 40 мкм. Однако при однократном импульсе микротвердость не превышает HV 320 Н/мм<sup>2</sup>, а при пятикратном воздействии она значительно возрастает до HV 550 Н/мм<sup>2</sup>.

Примерно равная глубина воздействия одного и многократных импульсов свидетельствует, в отличие от нелегированных сталей, о значительно меньшей теплопроводности аустенитных сталей. В то же время многократные импульсы трансформируют структуру вероятнее всего в направлении ее измельчения, что и вызывает повышение микротвердости.

Для стали 10P6M5, в случае обработки на «жестком» режиме, имеет место смешанный дендритно-ячеистый характер кристаллизации модифицированного с поверхности расплава. Анализ микроструктуры этой стали показал, что при одноимпульсном воздействии, модифицирование происходит на глубину около 7 мкм, а при пятикратном воздействии – на глубину до 38 мкм. Анализ микротвердости показал что при однократном импульсе микротвердость возрастает до HV 920 Н/мм<sup>2</sup> (при твердости сердцевины около HV 300 Н/мм<sup>2</sup>), а при пятикратном воздействии, доходит до HV 1150 Н/мм<sup>2</sup>

Таким образом, данные полученные для модифицированных сталей 12X18H9T и 10P6M5 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.

УДК 621.74

### **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 Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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 расплавлен-

ным 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 дистенсимианите, 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  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  и монотонно возрастает, достигая  $5 \text{ кгс/см}^2$  при  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Литература

1. Комаров О.С., Барановский К.Э., Розенберг Е.В., Комарова Т.Д. Методика определения прочности противопожарных покрытий // Литье и металлургия, № 4, 2014, с.31-32.

2. Полубояринов Д.Н. Практикум по технологии керамики и огнеупоров. – М: Стройиздат, 1972, -351 с.

УДК 534.2

### Легирование порошками сталей в твердом состоянии.

Яздани-Черати Дж. Х, Ушеренко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

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 сгустками, состоящими из порошков фракции менее  $200 \text{ мкм}$ , реализуется при скоростях  $300 - 16000 \text{ м/с}$ . В природе СГП реализуется в околоземном или межпланетном пространстве при соударении с космическими аппаратами (КА). На Земле процессы легирования сталей в режиме СГП реализуют при скоростях  $300 - 3000 \text{ м/с}$ . Для этого используют взрывные ускорители. Такой подход требует цехов, оснащенных специальными взрывными камерами. Однако, 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. Такие пушки получили широкое распространение во время и 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 сгустками свинцовых частиц и результаты последующего азотирования.



Рисунок 1. Структура стали после легирования частицами свинца в режиме сверхглубокого проникания и последующего газового азотирования,  $\times 10$



Рисунок 2. Анализ стального образца свинцом и азотом по глубине.

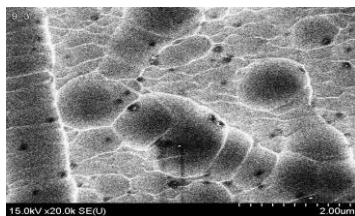
Выводы. Легирование стали в твердом агрегатном состоянии позволяет использовать для маркировки этого процесса порошковыми частицами Pb. Последующее азотирование не тормозится твердофазным легированием.



## Прошивка алюминия сгустком частиц кремния

Ушеренко С.М., Караминадик Иман  
Белорусский национальный технический университет

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. 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.



Зоны пульсации при прошивке алюминия (А7) частицами SiC.

Наличие участков пережата 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., Розенберг Е.В.

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

<sup>1</sup>Голубцова Е.С., <sup>2</sup>Каледина Н.Б.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский 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  $2 \times 3$ , 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 энергия 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

<sup>1</sup>Урбанович Н.И., <sup>1</sup>Комаров О.С., <sup>2</sup>Радченко А.А., <sup>2</sup>Игнатович З.В.\*

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

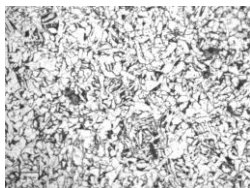
<sup>2</sup>Институт сварки и защитных покрытий ОХП ГНУ ИПМ

Модифицирование также находит широкое применение в сварочном производстве.

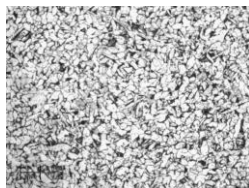
Целью данных исследований являлось определение влияния модификаторов, содержащих нано- и ультрадисперсные частицы, на структуру металла шва.

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.



а – стандартным электродом



б – с модификатором МС

Микроструктура сварных швов:

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**

<sup>1</sup>Качанов И.В., <sup>1</sup>Филипчик А.В., <sup>2</sup>Бабич В.Е., <sup>1</sup>Жук А.Н.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Университет 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  $V_{лр}$ , светопоглотительная 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 100x100 мм и толщиной  $S = 1-20$  мм, покрытые продуктами коррозии с двух сторон. Предварительно образцы были очищены с одной стороны по различным технологиям.

*Первую группу* составили образцы, очистка которых производилась по новой разработанной технологии с применением запатентованных составов, содержащих в качестве основного компонента бентонитовую глину ( $K_6 = 2-3$  %). Подача рабочей жидкости осуществлялась в конфузор новой конструкции с углом конусности  $\alpha_{онм} = 45-50^\circ$ , под давлением на входе  $p_{вх} = 30$  МПа,  $d_k = 1$  мм,  $L = 50$  мм,  $V_{стр} = 250$  м/с.

После очистки время сушки составляло 15–20 часов, что обеспечивало формирование на очищенной до  $Ra = 0,25-0,5$  мкм поверхности защитного пленочного покрытия (ЗПП) толщиной  $\delta = 3-5$  мкм. При обработке поверхности составом отмечается низкий уровень упрочнения очищенной поверхности. Так, например, величина микротвердости  $H_\mu = 2000-2400$  МПа превышает исходное значение  $H_{\mu 0} = 1900-2000$  МПа всего лишь в 1,1–1,3 раза. Полученное незначительное упрочнение поверхности перед осуществлением процесса ЛР в полной мере отвечает правилам эксплуатации лазерного комплекса TRUMATIC L2530, приведенным в работе.

Вторую группу для сравнительных испытаний составили образцы, очищенные по заводской технологии (дробеструйная очистка) до шероховатости  $Ra = 0,25-0,5\text{ мкм}$  и микротвердости  $H_{\mu} = 3100-3200\text{ МПа}$ .

Третью группу составили образцы, изготовленные из листового металла (сталь 08кп) в состоянии поставки ( $Ra = 12-14\text{ мкм}$  и микротвердость  $H_{\mu 0} = 1900-2000\text{ МПа}$ ).

Четвертую группу составили образцы, не очищенные от коррозии с величиной  $Ra = 70-80\text{ мкм}$  и микротвердостью  $H_{\mu 0} = 1900-2000\text{ МПа}$ .

Указанные образцы разрезались на комплексе TRUMATIC L2530. Результаты резки образцов приведены на рис. 2.



1 – задвижная крышка; 2 – панель управления; 3 – паллета; 4 – устройство подачи листов

Рис.1 – Внешний вид комплекса лазерной резки TRUMATIC

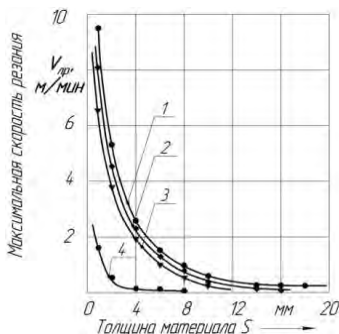


Рис.2 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины материала

На рис.2 обозначены: 1 –  $Ra = 0,25 - 0,5\text{ мкм}$ , образец после ГАО ( $K_{\sigma} = 3\%$ ,  $K_{\pi} = 10^{-5}\%$ ,  $K_{к.с} = 2\%$ , остальное вода),  $p_{вх} = 30\text{ МПа}$ ;  $d_{к} = 1\text{ мм}$ ;  $L = 50\text{ мм}$ ; 2 – материал в состоянии поставки,  $Ra = 12 - 14\text{ мкм}$ ; 3 – дробеструйная обработка образца по заводской технологии,  $Ra = 0,25 - 0,5\text{ мкм}$ ; 4 – отсутствие очистки образца от продуктов коррозии, 1-4 – сталь 08кп.

Из анализа проведенных испытаний было установлено, что для исследованных образцов, в частности, с толщиной  $S = 2\text{ мм}$  отмечалось увеличение скорости лазерной резки с  $0,4\text{ м/мин}$  (резка образца № 4), до  $5,0\text{ м/мин}$  (резка образца № 1). Отмеченные скорости были получены из условия отсутствия грата на боковой поверхности реза. При равной скорости резки ( $5,0\text{ м/мин}$ ) на 1-м образце грат отсутствует, в результате чего технологическая операция по зачистке грата нецелесообразна, а например на 4-м образце длина грата составляет  $2\text{ мм}$ .

## **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  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{BN}$  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  $\alpha$ - и  $\beta$ - модификации  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\alpha$ - и  $\beta$ - модификации  $\text{BN}$  и незначительного количества оксида кремния.

Содержание гексагональной модификации нитрида бора ( $\alpha$ - $\text{BN}$ ) и его кубической модификации ( $\beta$ - $\text{BN}$ ) остается неизменным во всем исследуемом диапазоне температур и соответствует содержанию этих фаз в исходной шихте. В то же время с увеличением температуры спекания содержание  $\alpha$ -модификации  $\text{Si}_3\text{N}_4$  уменьшается и практически полностью переходит в  $\beta$ -модификацию  $\text{Si}_3\text{N}_4$  при температуре 1800 °С.

С ростом температуры спекания наблюдается также тенденция к незначительному росту количества фазы  $\text{SiO}_2$ , которая образуется в результате частичного распада нитрида кремния при повышенных температурах спекания.

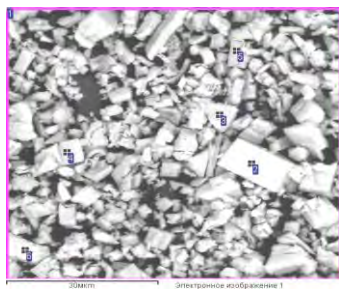
**Исследование морфологии и фазового состава шихты  
для изготовления композитов на основе нитридной  
и оксидной керамики**

Волосатиков В.И., Григорьев С.В., Сенченко Г.М.  
Белорусский национальный технический университет

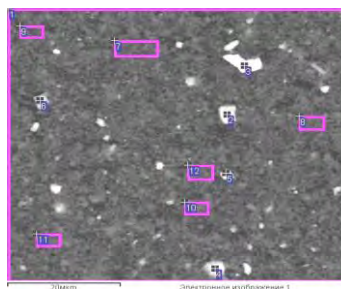
Для работы в качестве режущего инструмента при рабочих температурах более 1000°C на предприятиях используются термостойкие керамические материалы на основе нитрида кремния. Для создания высокоплотных керамических материалов, обладающих нанодисперсной структурой и требуемым фазовым составом в исходную 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  $\text{Si}_3\text{N}_4$  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  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ , а на рисунке 1,б – порошок шихты, состоящей из субмикронного порошка  $\text{Si}_3\text{N}_4$  с 5% порошка  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ .



а – исходный порошок  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ,



б - порошок шихты  $\text{Si}_3\text{N}_4$  с 5%  $\text{Eu}_2\text{O}_3$

Рис. 1 - Внешний вид порошка  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  и шихты  $\text{Si}_3\text{N}_4$  с 5%  $\text{Eu}_2\text{O}_3$

Форма частиц порошка  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  осколочная с основной фракцией 5-10 мкм. При смешивании крупные частицы  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  размером более 10 мкм дробятся до размера порядка 5 мкм, размер порошка  $\text{Si}_3\text{N}_4$  остается неизменным. Фазовый состав шихты состоит из -  $\alpha$  и  $\beta$ -  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ .



**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 нанопокрытиях, 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 100нм) 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°C. При отжиге 850°C в покрытии протекают диффузионные процессы перемещения подвижных атомов углерода с образованием SiC с гексагональной плотно упакованной решеткой ( $\alpha$ -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 нанопокрывтием 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 ( $\text{Mo} + 2\text{Si} + \text{C} = \text{MoSi}_2$ , C). Ti в зоне контакта с конденсатом образует высоко- и низкотемпературные фазы TiSi и  $\text{TiSi}_2$  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  $\text{MoSi}_2$  при 940 – 1000°C. Использовали низкие давления рабочего газа до 0,3 – 0,35 Па при токе катушки до 1А, 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.

# **Машины и технология литейного производства**

**Создание условий применения литых сталей для изготовления  
высокоресурсного инструмента**

Федулов В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для повышения уровня пластичности и ударной вязкости литой стали типа 4X5MФ1С в её состав необходимо вводить дополнительно никель в количестве 2-3%. На этой основе разработан новый состав универсальной стали типа 45-50X5H2MФС. Сталь используется при содержании углерода до 0,45% для изготовления матриц и пуансонов пресс-форм литья под давлением изделий из алюминиевых сплавов и штампов горячего формообразования: твердость 50-46 HRC после закалки от 1150 °С в масле и отпуска 600-650 °С. При содержании углерода 0,5% и выше её следует использовать для изготовления высоко ресурсных штампов холодной деформации: твердость до 60-61 HRC уже после отпуска при 525-550 °С. Разработана также новая сталь для рабочих частей пресс-форм типа 4X2H2B4MФС, упрочняемая с использованием закалки в масле от температуры 1200-1220 °С и отпуска при температуре 650-700 °С: твердость 48-46 HRC. Для всех сталей применяется поверхностное упрочнение инструмента с использованием технологического процесса карбонитрирования в обмазке, что является способом замедления возникновения разгарных трещин и повышения ресурса работы пресс-форм литья изделий из алюминиевых сплавов и штампов горячего и даже холодного формообразования. В результате диффузионного насыщения полированной поверхности одновременно азотом и углеродом образуется твердый раствор со сталью, что не позволяет появления дополнительного количества границ зерен во время эксплуатации. Известно, чем меньше протяженность границ зерен, выходящих на поверхность, тем меньше вероятность появления разгарных трещин. Нанесение слоя обмазки толщиной до 20 мм и использование нагрева при температуре 520 °С в течение 2-8 ч обеспечивает повышение ресурса работы упрочняемых деталей инструмента в 1,5-2 раза.

Новый состав обмазки включает железистосинеродистый калий, окись кремния, натрий хлористый, стронций фтористый и гипс. Его использовали при изготовлении технологической оснастки из стали 4X5MФС на общую сумму 8829,49 руб. на ОАО «КЗТШ», г. Жодино. А на ОАО «Амкорд-Белвар» проведено восстановление свойств рабочих поверхностей ранее наиболее нагруженных пуансонов пресс-форм литья изделий из алюминиевых сплавов, что позволило дополнительно отлить продукции в количестве 23 тыс. шт. на общую сумму 1275 руб. по операции литья.

УДК 621.76

## Влияние температуры отпуска на изменение микроструктуры и твердости литой стали 4Х5МФ1С

Федулов В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Литая сталь имеет наиболее высокую твердость при температуре отпуска 525 °С (1,5 ч) из-за превалирования процесса вторичного твердения над другими (рис. 1). При повышении температуры нагрева происходит уменьшение эффекта упрочнения стали от дальнейшего снижения относительного присутствия дефектов, соответствующего упорядочения и укрупнения внутридендритной микроструктуры. В первую очередь наблюдается появление и рост границ зерен и изменение формы выделений мартенсита отпуска (рис. 2) и изменения состава и формы выделений вторичных фаз.

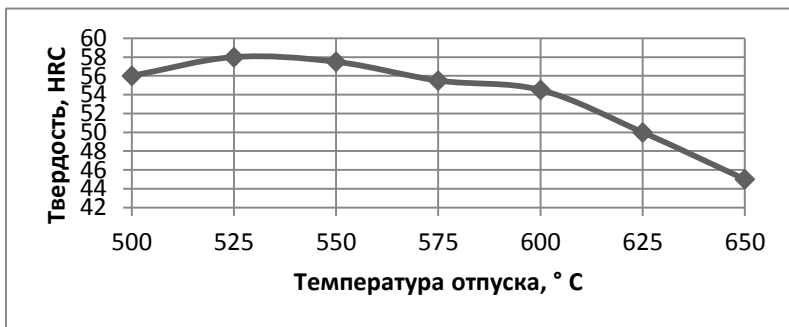
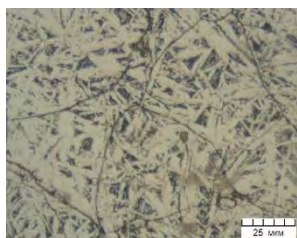
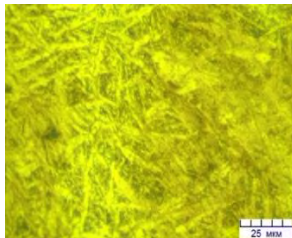


Рис. 1 Изменение твёрдости стали у отливки Ø 33 мм при отпуске



а - после отпуска при 650 °С, 1,5 ч



б - после отпуска при 550 °С, 1,5 ч

Рис. 2 Внутридендритная микроструктура литой стали

**Методика выполнения графических построений в программе КОМПАС-3D при курсовом проектировании**

Одинокко В.Ф. Дегтярёнок И.Д.

Белорусский национальный технический университет

«КОМПАС» – семейство систем автоматизированного проектирования с возможностями оформления проектной и конструкторской документации согласно стандартам серии ЕСКД и СПДС.

«КОМПАС» предназначен для выполнения проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности при создании чертежей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. В программе «КОМПАС-3D» также можно создавать схемы, спецификации, таблицы, инструкции, расчётно-пояснительные записки, технические условия, текстовые и прочие документы.

«КОМПАС» разрабатывается российской компанией «Аскон». Название линейки является акронимом от фразы «КОМПлекс Автоматизированных Систем». В торговых марках используется написание заглавными буквами. Программы данного семейства автоматически генерируют ассоциативные виды трёхмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи. Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из трёхмерной модели. Имеется возможность связи трёхмерных моделей и чертежей со спецификациями, то есть при «надлежащем» проектировании спецификация может быть получена автоматически; кроме того, изменения в чертеже или модели будут передаваться в спецификацию, и наоборот. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе проектированного ранее прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

В рабочей программе дисциплины «Прикладная механика литейного производства» предусмотрено выполнение курсовой работы и курсового проекта связанных с проектированием приводов литейного оборудования, а также с кинематическим и силовым анализом механизмов. Для выполнения указанных графических работ студенты успешно используют «КОМПАС-3D 12 LT», который является бесплатной упрощённой версией КОМПАС-3D» (без возможности моделирования сборок) для использования в школах, кружках, а также в личных образовательных целях.

## Проектирование стержневых ящиков

Скворцов В.А., Скворцов А.А.

Белорусский национальный технический университет

Стержневые ящики должны отвечать следующим требованиям: обеспечивать удобное и равномерное уплотнение стержня; лёгкое извлечение стержня без деформаций и повреждений; иметь достаточно жёсткую конструкцию и небольшую массу; быть износостойкими и долговечными в работе; обеспечивать возможность простановки каркасов и выполнения вентиляционных каналов.

По конструктивному исполнению стержневые ящики подразделяются на разъёмные и неразъёмные, так называемые вытряхные. Неразъёмные стержневые ящики бывают без вкладышей и с вкладышами, которые служат для выполнения выступающих частей и поднутрений на стержне. В стержневых ящиках без вкладышей корпус является формообразующим элементом, а его внутренняя поверхность соответствует конфигурации стержня. Такие ящики имеют достаточно большие уклоны боковых поверхностей, которые обеспечивают свободное извлечение стержня. Если уклоны на боковых поверхностях стержня не допускаются, в таком случае они оформляются вкладышами. Разъёмные стержневые ящики могут делиться на две и более частей, количество которых зависит от сложности конфигурации стержня. Плоскости разъёма частей ящика могут располагаться в любых направлениях. Все отдельные части разъёмных стержневых ящиков должны строго фиксироваться друг с другом и иметь жёсткую конструкцию.

В зависимости от метода изготовления стержней стержневые ящики делятся на ящики для ручной и машинной формовки, для пескодувных и пескострельных машин, для оболочковых стержней.

Основными элементами вытряхных стержневых ящиков являются: корпус с узлами для транспортировки и установки, вкладыши, отбуртовки, ребра жесткости, броневые покрытия, вентиляционные каналы, элементы герметизации и др.

Разъёмные стержневые ящики применяются, как правило, при изготовлении стержней отверждаемых в оснастке. Основными конструктивными элементами закрытых стержневых ящиков для пескодувного процесса являются: полуформа нижняя; полуформа верхняя; центрирующие штыри и втулки; корпус; выталкиватели и контролкатели; плита выталкивателей и подкладная плита выталкивателей; упоры.



**Проектирование моделей для разовых форм**

Скворцов В.А., Скворцов А.А.

Белорусский национальный технический университет

Модели для разовых форм должны быть лёгкими, прочными, достаточно жёсткими и простыми. Исходными данными для определения толщины стенки металлической модели является её длина  $L$  и ширина  $B$ , определяющие средний габаритный размер  $(L+B)/2$ . Значения толщин стенок моделей в зависимости от их среднего габаритного размера и материала, из которого они изготавливаются выбираются по справочным данным. Модели со средним габаритным размером до 160 мм, а также низкие модели ( $H \leq 25$  мм) допускается изготавливать цельнолитыми, во всех остальных случаях изготавливают пустотелые модели. При уплотнении формовочной смеси под удельным давлением 1-4 МПа необходимо увеличивать толщину стенок пустотелых моделей на 30-35 %. Конструкция элементов крепления моделей к подмодельным плитам зависит от габаритных размеров самой модели. Для невысоких моделей ( $H < 100$  мм) рекомендуется осуществлять крепление с помощью специальных приливов, а для высоких – с помощью отбуртовок.

Крепление моделей питателей, шлакоуловителей, дросселей осуществляется сверху винтами или заклёпками, диаметр которых выбирается конструктивно в зависимости от размеров элементов литниковой системы. Фиксирование и крепление стояка на модельных плитах может осуществляться штырями или с помощью резьбового хвостовика.

Модели-фальшивки, применяемые для получения земляного «болвана», могут крепиться к подмодельным плитам с помощью врезных бортов или вставкой в специальные приливы на плитах.

Жёсткость моделей обеспечивается с помощью специальных рёбер, толщина которых принимается равной 0,8 от толщины стенки модели. Формовочные уклоны на рёбрах берутся в пределах 1-3°. Минимальное расстояние между рёбрами должно быть не менее 60 мм, а максимальное – не более 250 мм. Конструкция рёбер жёсткости может быть следующей. Они могут доходить до плоскости разъёма. Такая конструкция рёбер жёсткости применяется для невысоких моделей ( $H \leq 100$  мм) с горизонтально расположенными формообразующими поверхностями большой протяжённости. В высоких моделях прямоугольной, круглой или цилиндрической формы с небольшой опорной поверхностью делают арочные ребра. Мелкие и средние модели ( $D \leq 250$  мм) могут иметь ребра жёсткости, приподнятые на 10 мм над плоскостью разъёма.

УДК 621.76

**Компьютерное моделирование технологии изготовления отливок  
крупногабаритных тяжело нагруженных подшипников из сплавов  
Zn-Al-Cu**

Рудницкий Ф.И., Маркин Д.Н.

Белорусский национальный технический университет

Подшипник скольжения изготавливается в кокиле с одной плоскостью разъёма (сталь AISI 1040) с разборным металлическим стержнем (сталь AISI 1040).

Моделирование технологии получения отливки велось в САЕ среде ProCast. ProCast – американский пакет, использующий для аппроксимации метод конечных элементов. В ProCast моделируются тепловые, гидродинамические и деформационные процессы, а также процессы структурообразования. При прогнозе структурных параметров в ProCast используют численный расчет, который в общем случае более достоверен, по сравнению с критериальным анализом который используют другие САЕ среды, например, такие как MagmaSoft и ПОЛИГОН. ProCast имеет собственный генератор конечно-элементных сеток.

Программный комплекс ProCAST позволяет решать практически любые технологические задачи, связанные с литьём металлов, моделировать любую литейную технологию:

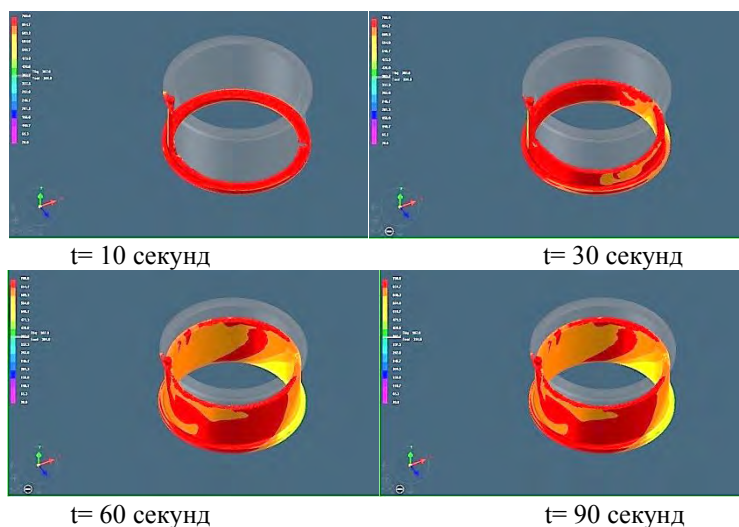
- любая гравитационная заливка (литье в кокиль, в ПГС и ХТС, по выплавляемым моделям и т. д.);
- литье под регулируемым давлением (литье под высоким давлением, литье под низким давлением, литье с противодавлением, литье вакуумным всасыванием и т. д.);
- центробежное литье;
- непрерывное литье;
- литье по газифицируемой модели.

В программе предусмотрен встроенный химический калькулятор, благодаря которому можно рассчитать все необходимые теплофизические свойства любого сплава прямо в программе.

Программа ProCAST позволяет определить:

- распределение тепловых полей в отливке и форме;
- оценить уровень возникающих напряжений в отливке и металлической оснастке
- позволяет рассчитывать цикличные нагрузки (например, при литье под давлением).

На рисунке показаны результаты моделирования, в частности температурные поля в отливке при заливке формы жидким расплавом в различные моменты времени.



Процесс заливки формы расплавом в различные моменты времени

УДК 621.745.551

### Модифицирование чугунов при изготовлении отливок моторной группы

Рудницкий Ф.И., Куликов С.А.\* , Шумигай В.А.\*  
Белорусский национальный технический университет  
ОАО «Минский тракторный завод»\*

В условиях литейного производства ОАО «Минский тракторный завод», на плавильном участке ЦТСЛ были проведены лабораторные эксперименты по модифицированию серого чугуна марки СЧ20 ультрадисперсным модификатором (УДМ) на основе отходов производства быстрорежущих сталей. Для удаления СОЖ применяли щадящую термическую обработку. Эксперименты проводили следующим образом: в ковш ёмкостью 100 кг перед заливкой металла подавали предварительно взвешенный модификатор в количестве 1%, 2,5% и 5% от массы расплава. От каждого ковша в песчаные формы отливали стандартные образцы для определения механических свойства, по два в каждой форме. Получившиеся образцы были пронумерованы: 1А и 1Б – контрольные образцы без добавок УДМ,

2А и 2Б с добавкой 1% УДМ, 3А и 3Б – с добавкой 2,5% УДМ, 4А и 4Б – с добавкой 5% УДМ. После выдержки в форме в течение 10мин, образцы извлекали и охлаждали на воздухе до комнатной температуры. Далее от образцов были отделены фрагменты длиной 30 мм, на которых определяли твёрдость по литой поверхности и в центре среза; после чего образцы меньших размеров использовали для определения химического состава. Из оставшейся части отливок изготавливали образцы для разрывных испытаний. По результатам испытаний зафиксировано увеличение твёрдости образцов пропорционально количеству введённого УДМ: с 207 НВ и 197 НВ (литая поверхность и сердцевина) у контрольных образцов, до 241 НВ и 241 НВ соответственно у образцов №4. При этом предел прочности на разрыв опытных образцов так же возрастает с увеличением количества вводимого УДМ с 197 МПа у образцов №1 до 235 МПа у образцов №4.

По результатам предварительных лабораторных испытаний целью второго этапа работы явилось проведение промышленных испытаний по модифицированию УДМ чугуна СЧ20 при его выплавке для изготовления отливок моторной группы на плавильном участке ЛЦ-1. Эксперимент проводили следующим образом: в ковш ёмкостью 1000 кг перед заливкой металла подавали предварительно взвешенный модификатор в количестве 2,8% от массы расплава. Модифицированным расплавом были залиты формы отл.50-1005141 «Крышка коренного подшипника». При заливке металла зафиксировано падение температуры расплава с 1420 °С на жёлобе печи до 1380 °С при заливке в форму, жидкотекучесть расплава при этом не изменилась. От образовавшейся партии отливок были отобраны образцы: «К» - контрольный, без добавки УДМ, «О» - опытный, с добавкой 2,8% УДМ. Далее отобранные отливки были направлены в ЦЗЛ для определения механических свойств. Полученные данные свидетельствуют о том, что при добавке УДМ твёрдость отливок «К» и «О» по литой поверхности одинакова – 202 НВ, однако на глубине припуска на механическую обработку твёрдость отливок, модифицированных УДМ выше – 197 НВ и 187 НВ соответственно. При этом предел прочности на разрыв возрос с 197 МПа до 218 МПа.

В результате проведённых лабораторных и промышленных испытаний установлено, что ультрадисперсные частицы могут быть перспективными материалами в различных технологических процессах литейного производства. Для их повсеместного внедрения необходима детальная проработка технологических аспектов их применения: изыскание наиболее благоприятной морфологии, состава и способов ввода.

**Анализ возможности использования полимеров УФ-отверждения в качестве связующего в противопопригарных покрытиях для литейных форм и стержней**

Николайчик Ю.А., Дубицкий А.А.  
Белорусский национальный технический университет

Как известно наиболее распространённой технологией получения отливок из стали и чугуна является изготовление их в разовые песчаные формы. По такой технологии изготавливается около 80 % общего объёма производимых отливок из стали и чугуна. Такие цифры обусловлены высокой производительностью и универсальностью процесса изготовления отливок в разовых песчаных формах, который позволяет получать отливки массой от нескольких граммов до десятков тонн. Несмотря на высокий уровень технологий изготовления форм и стержней, одним из недостатков такой технологии является недостаточно высокое качество поверхности отливок. Это обусловлено образованием различных дефектов поверхности, из которых пригар является самым распространённым. Очистка отливок от пригара вызывает дополнительные затраты материальных и трудовых ресурсов, которые могут достигать 40–60 % общего объёма трудоёмкости изготовления. Кроме того, очистка отливок от пригара является операцией, вредной для здоровья работающих и плохо поддающейся механизации и автоматизации.

Наиболее распространённой и действенной мерой по профилактике образования пригара на поверхности стальных и чугунных отливок является нанесение на поверхность литейной формы специальных противопопригарных покрытий, которые позволяют не только защитить литейную форму от агрессивного воздействия металла, но и заранее предопределить будущее качество поверхности отливки.

Противопригарные покрытия представляют собой смесь веществ, где твёрдое вещество распределено в виде мельчайших частичек в жидких веществах во взвешенном состоянии. Компонентами противопопригарных покрытий являются: порошкообразный огнеупорный наполнитель, связующее, суспензирующие вещества, растворитель и вспомогательные компоненты (функциональные добавки).

Однако стоит заметить, что противопопригарные покрытия, применяемые в литейных цехах, часто не соответствуют требованиям новых технологических процессов изготовления форм и стержней. Главная причина заключается в разрыве между уровнем технологии изготовления литейных форм и стержней и средств предотвращения поверхностных дефектов. Если проследить за развитием методов изготовления литейных форм и стержней,

можно увидеть, что основное внимание при разработке технологических процессов уделяется прежде всего сокращению цикла изготовления форм и стержней, например, за счёт исключения операций высушивания и уплотнения смесей. Таким образом, применение водных красок для окраски форм и стержней, которые не требуют сушки, снижают эффективность технологического процесса. А некоторые существующие самовысыхающие краски обладают настолько малой прочностью при высокой температуре, что первыми же порциями жидкого металла краска смывается с поверхности формы и не только не предотвращает пригара, но и является источником засоров в отливке. Применение в технологическом процессе изготовления форм и стержней автоматических линий зачастую и вовсе исключает возможность применения противопопригарных покрытий.

Для устранения указанных недостатков был выполнен анализ и изучена возможность применения в качестве связующего в противопопригарных покрытиях полимеров УФ отверждения, которые уже нашли широкое применение в лакокрасочных покрытиях.

Способ отверждения покрытий ультрафиолетовым излучением получил промышленное развитие в конце 60-х годов прошлого века и в настоящее время считается одним из наиболее перспективных. Первые печатные краски, отверждающиеся под воздействием УФ-излучения появились еще в 70-е годы прошлого века, и эта технология продолжает развиваться и завоевывает новые сегменты рынка.

Преимуществами технологии УФ отверждения являются высокая производительность и малые затраты энергии. Быстрая скорость отверждения, в считанные секунды, обеспечит высокую производительность технологических процессов нанесения противопопригарных покрытий. Так как для отверждения потребуется только УФ излучение, то отпадает надобность в сушильном оборудовании. (меньшая энергоёмкость процесса).

Несомненным преимуществом перед самовысыхающими и водными покрытиями является отсутствие в качестве разбавителей летучих органических соединений и воды. При УФ отверждении используются только реактивные разбавители (мономеры), которые принимают участие в процессе полимеризации и встраиваются в полимерную структуру покрытия.

Также следует отметить, что все больший научный интерес в сфере полимерных нанокомпозитов вызывают нанокомпозитные материалы на основе полимеров и слоистых силикатов (глины). Это лишний раз показывает, что УФ технология приобретает популярность также и в других отраслях, а не только в лакокрасочной промышленности.

Таким образом, применение полимеров УФ отверждения в качестве связующего для противопопригарных покрытий является перспективным направлением. И более того, в этом направлении уже идут исследования и

получены первые результаты, которые на данный момент нуждаются в детальном анализе, но уже сейчас могут служить основой для дальнейшего развития и внедрения УФ технологии в литейном производстве. Все вышеперечисленные преимущества данной технологии несомненно удовлетворят современные требования по производительности, экологичности и энергоэффективности, предъявляемые сегодня к технологическим процессам литейного производства (в частности, к противопригарным покрытиям).

УДК 621.74.002.6:669.131.7

### **Высокопрочный чугун для изготовления поршней двигателей**

Гуминский Ю.Ю., Мелешко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важнейших задач в двигателестроении является увеличение ресурса и продолжительности безотказной работы двигателей для чего необходимо обеспечить надёжную работу наиболее ответственных и высоконагруженных деталей, к числу которых относится поршень.

Материал поршня должен иметь высокие прочностные характеристики, термоциклическую стойкость, теплопроводность, низкий коэффициент термического расширения, высокую износостойкость и коррозионную стойкость. В настоящее время в качестве основного материала для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания применяют эвтектические и заэвтектические легированные силумины.

В процессе эксплуатации поршни испытывают большие механические, тепловые, инерционные нагрузки. Импульсный характер нагружения, а также изменение температуры и давления газов в течение рабочего цикла могут привести к значительным деформациям и возникновению напряжений превышающих предел усталости материала.

К важнейшим характеристикам поршневых сплавов относятся теплопроводность и коэффициент термического расширения. Высокая теплопроводность обеспечивает быстрый отвод теплоты, образующейся при сгорании топлива, а коэффициент термического расширения определяет способность материала сохранять размеры в процессе длительной эксплуатации. Минимальное изменение зазора между гильзой и поршнем возможно, если коэффициент термического расширения поршневого материала и гильзы цилиндра одинаковы, т. е. если они будут изготовлены из одного и того же материала.

В связи с форсированием двигателей внутреннего сгорания, алюминиевые сплавы уже не в состоянии в полной мере удовлетворять всем требованиям. Наиболее перспективным материалом можно считать высоко-

прочный чугун с шаровидной или вермикулярной формами графита. Выбор чугуна для использования в качестве альтернативного сплава обусловлен более высокими прочностными характеристиками при повышенных температурах, устойчивостью к росту в процессе эксплуатации.

Основным сдерживающим фактором является различие в весе алюминиевых и чугунных сплавов, так как масса поршня в значительной мере определяет уровень инерционных сил. Использование компьютерной техники на современном этапе позволяет оптимизировать конфигурацию поршня исходя из конкретных условий работы при уменьшении его веса.

Прочность и относительное удлинение высокопрочных чугунов с шаровидной и вермикулярной формами графита при температурах до 400 °С практически не изменяются. Чугун с вермикулярной формой графита, по сравнению с высокопрочным чугуном с шаровидной формой графита, при достаточно высоких физико-механических свойствах, обладает более высокой теплопроводностью, низкой чувствительностью к скорости охлаждения, что делает его весьма перспективным для деталей, работающих в условиях теплосмен при значительном перепаде температур. Особенностью металлической основы структуры ЧВГ является наличие значительного (70-90 %) количества феррита, который располагается в виде оторочек вокруг графитовых включений.

Длительное постоянство объёма и свойств в диапазоне температур до 450 °С, достигается при изготовлении деталей из высокопрочного чугуна с ферритной структурой.

Перлитные чугуны с шаровидной формой графита рекомендуется применять только до тех пор, пока в процессе эксплуатации не происходит распад связанного углерода, что ведёт к увеличению размеров до 1,5 %. Распад перлита значительно ускоряется под воздействием динамических нагрузок. Наличие в структуре цементита необходимо исключить, т.к. теоретически 0,1 % связанного в цементит углерода вызывает при распаде увеличение объёма ~ 0,18 %. Таким образом, с точки зрения теплопроводности, термостойкости и ростоустойчивости предпочтительной является ферритная структура.

Высокопрочный чугун с шаровидной или вермикулярной формами графита, обладая хорошими физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами вполне может использоваться в качестве замены алюминиевым сплавам, используемым для изготовления поршней в двигателях. Решение этой проблемы возможно при тесном сотрудничестве литейщиков и конструкторов, т.к. работа должна идти не только по пути создания оптимальной конфигурации поршня, но и технологичной, с точки зрения литейного производства.



## **Чугун с вермикулярной формой графита для изготовления тормозных дисков и барабанов**

Крутилин А.Н., Гуминский Ю.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время все чаще говорят о чугунах с включениями вермикулярного графита и все серьезнее обращают внимание на возможность его применения для изготовления сложных отливок. Как конструкционный материал высокопрочный чугун с вермикулярной формой графита (ЧВГ) используется в промышленности сравнительно недавно. Интерес к этому экономичному высококачественному чугуну возрастает ввиду благоприятного комплекса физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств.

Свойственное чугунам с вермикулярной формой графита сочетание высоких механических свойств, износостойкости и теплопроводности, делает его перспективным для изготовления деталей, работающих при циклических термических нагрузках. ЧВГ имеет своеобразную форму графита, представляющую собой короткие неразветвленные включения графита. Присутствие пластинчатого графита резко снижает механические свойства чугуна и поэтому не допустимо. Особенностью металлической основы структуры ЧВГ является наличие значительного (70-90 %) количества феррита, который располагается в виде оторочек вокруг графита. Механические свойства отливок ( $\sigma_b = 330 - 380$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 260 - 300$  МПа,  $\delta = 3-8$  %, HB 130 - 170), достижимы только при количестве включений вермикулярного графита в структуре не менее 80-90% (остальное - включения шаровидного графита). Особая форма и взаимосвязь компактного графита в металлической основе ЧВГ, хорошие литейные свойства, низкая чувствительность к скорости охлаждения, по сравнению с чугуном с шаровидной формой графита (ЧШГ), обеспечивающая однородность структуры и свойств чугуна в различных сечениях отливки, дает сочетание физико-механических свойств, недостижимых даже для ЧШГ. Комплекс физико-механических свойств чугуна с вермикулярным графитом определил область его применения в промышленности.

В автотракторостроении и других отраслях машиностроения литые детали из чугуна с вермикулярной формой графита находят все более широкое применение. Например, для изготовления маслопроводов, опорных деталей головки цилиндров тяжелых грузовиков, крепежных деталей рам грузовиков, тормозных рычагов, шкивов сервопривода грузовика, монтажных кронштейнов балластных грузов трактора, бандажных колец шестерен

грузовика, корпусов промежуточных зубчатых передач, тормозных кронштейнов и т.д. Вес отливок колеблется в пределах 0,4-40 кг и более при толщине стенок 4-50 мм.

Циклическое воздействие температур является для конструкционных деталей тяжёлой нагрузкой, которая может вызвать в деталях трещины или деформацию и привести их в негодность. Причиной являются напряжения, появляющиеся вследствие сопротивления термическому растяжению и сжатию. Растягивающие напряжения в некоторых случаях достигают предела прочности и даже превышают его, в результате чего образуются трещины. ЧВГ благодаря своей высокой прочности при растяжении, высокому пределу усталости при знакопеременной нагрузке и удлинении имеет хорошую стойкость к образованию трещин.

На основе данных литературного обзора и исходя из конкретных условий работы тормозных дисков, в качестве оптимального материала для их изготовления, наиболее перспективно применение чугунов с вермикулярной формой графита с ферритной, перлитной или бейнитной структурой.

Тормозные барабаны из ЧВГ сочетают в себе высокую прочность при меньшем весе по сравнению с чугунными или стальными тормозными барабанами. При использовании ЧВГ возможно уменьшить вес отливки на 10-25%, так как ЧВГ имеет свойства в пределах между высокопрочным и серым чугуном. В дополнение к уменьшению веса, тормозные барабаны, сделанные из ЧВГ, имеют высокую прочность и жёсткость, что предотвращает механические поломки и разрушения.

Освоение производства отливок из ЧВГ известными зарубежными фирмами, даёт основание говорить, что при строгом соблюдении технологической дисциплины возможно стабильное получение этого перспективного материала. В связи с этим, возникает необходимость в дальнейшем изучении и расширении внедрения ЧВГ и технологий изготовления из них отливок, что позволит получить значительный экономический эффект и обеспечить конкурентоспособность новой техники.

# **Обработка материалов давлением**

**Импульсно-плазменное упрочнение рабочих поверхностей  
формообразующего инструмента из углеродистой стали**

Белявин К.Е., Минько Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее эффективным путем повышения прочности режущего формообразующего инструмента считается создание в объеме или на рабочей поверхности материала ультрамелкого зерна с развитой ячеистой субструктурой, что в реальных условиях достигается различными методами интенсивной пластической деформации или импульсного высокотемпературного воздействия. При этом задача повышения прочности изделий путем создания объемной или поверхностной ультра- и нанокристаллической структуры в промышленных масштабах окончательно не решена.

Метод импульсно-плазменного модифицирования разработан для поверхностного упрочнения материалов и заключается в ускорении потока стационарной плазмы с помощью импульсных высоковольтных ( $10^3$ - $10^4$  В) разрядов до сверхзвуковых скоростей. В формирующихся таким образом импульсных плазменных пучках плотность тока достигает значений порядка  $10^3$ - $10^4$  кА/м<sup>2</sup>, а локальная температура плазмы  $\sim 10^4$  К.

С целью изучения возможности управления структурой, фазовым составом, физико-механическими и эксплуатационными свойствами формообразующего инструмента экспериментальные исследования импульсно-плазменного упрочнения проводили на образцах из стали 45, термообработанных до 44-46 HRC и подвергнутых полированию. Исследования показали, что поверхность образцов после импульсно-плазменного воздействия приобрела темно-серый оттенок, а параметр шероховатости Ra уменьшился с 0,2 мкм до 0,1 мкм. Результаты измерений микротвердости образцов в перпендикулярном плоскости обработки направлении показали, что в тонком ( $\sim 20$  мкм) поверхностном слое микротвердость достигала 6-7 ГПа и монотонно снижалась до 1,7-1,8 ГПа на глубине 100 мкм от поверхности. Исследования морфологии и микроструктуры поверхности показывают, что после импульсно-плазменного воздействия в тонких поверхностных слоях материала возникают мартенситные превращения, в то время как микротвердость внутренней части материала остается практически неизменной.

В практических целях полученные результаты можно использовать при разработке технологий упрочнения рабочих поверхностей формообразующего инструмента, работающего в условиях повышенного абразивного износа.

**Особенности формирования структуры и свойств композиционных материалов на основе железа при электроимпульсном прессовании и спекании**

Белявин К.Е., Минько Д.В., Белый А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Одним из возможных путей повышения комплекса свойств железных порошков, применяемых, в частности, для восстановления поверхности изношенных деталей машин, является их механическое легирование различными металлами, среди которых наибольший практический интерес представляют хром, никель, олово и цинк, а также их сочетания, образующие с железом твердые растворы замещения и интерметаллиды. Концентрация легирующих элементов оказывает существенное влияние на структурообразование композиционных материалов и покрытий на основе железа, в частности, на кристаллографическую текстуру и морфологию поверхности.

При консолидации порошков железа ПЖР 3.200.28 ГОСТ 9849-86 с добавками наноструктурных компонентов системы Fe–Sn методом электроимпульсного прессования и спекания, по-видимому, следует ожидать более интенсивного образования интерметаллических соединений. Фазовый состав получаемых композиционных материалов может содержать при этом как твердые растворы, так и интерметаллиды в зависимости от состава исходных компонентов и технологических параметров получения.

Установлено, что добавка 1 % наноструктурированного порошка FeSn позволяет достичь относительной плотности прессовки 90-92 %, прочности на сжатие 124-129 МПа. Повышение процентного содержания наноструктурированного порошка FeSn способствует снижению величины относительной плотности и предела прочности на сжатие.

Проведенные металлографические исследования показали, что наличие большого количества наноструктурированных частиц негативно влияет на и на спекаемость материала. Увеличение содержания добавки наноструктурированного порошка FeSn препятствует процессу ликвидации пор, требует увеличение усилия прессования, приводит к значительным внутренним напряжениям и к образованию микротрещин.

Показано, что добавка наноструктурированного порошка FeSn оказывает также существенное влияние на структурообразование композиционного материала на основе железа, в частности, на рост и измельчение зерна, что говорит о протекающих при электроимпульсном прессовании и спекании интенсивных фазовых превращениях.

## Исследование процесса прокатки длинномерных изделий с получением градиентного структурного состояния стали

<sup>1</sup>Давидович Л.М., <sup>2</sup>Кирило О.В., <sup>2</sup>Давидович А.Н., <sup>3</sup>Давидович В.А.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси

<sup>3</sup>Минский городской технопарк

Необходимость получения градиентного структурного состояния стали обусловлена требованиями к эксплуатационным характеристикам изделий. Так, например, длинномерная конструкция зубьев роторных борон почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин предусматривает наличие твердой прочной рабочей части и более вязкой монтажной части. Высокая прочность и твердость необходимы для восприятия ударных и абразивных нагрузок при эксплуатации зуба, а высокая ударная вязкость монтажной части позволит избежать разрушения при консольном нагружении. В качестве материала для исследований использовали легированную конструкционную сталь 30ХГСА. Для получения градиентной структуры стали 30ХГСА с соответствующими механическими показателями производили сквозной индукционный нагрев заготовки и локальную продольно-поперечную прокатку лезвийной рабочей части. После прокатки производили дополнительную трёхкратную термоциклическую обработку (ТЦО) лезвия в диапазоне температур  $(A_{c3} + (30 \div 50)^\circ\text{C}) - (A_{c1} - (30 \div 50)^\circ\text{C})$ . На завершающей стадии ТЦО с температуры  $(A_{c3} + (30 \div 50)^\circ\text{C})$  производили его закалку. При этом недеформированную часть изделия подвергали неполной закалке с охлаждением на воздухе.

Такой способ обработки позволил получить мартенситную структуру в рабочей части с твердостью 51-53 HRC, а структура монтажной части имеет более сложный состав с наличием остаточного аустенита, феррита, перлита, верхнего бейнита и мартенсита. Твердость стали в монтажной части составляет 42-46 HRC при ударной вязкости  $\alpha_n = 70 \text{ Дж/см}^2$ .

Таким образом, по длине зуба роторной бороны в результате специальной обработки сформированы три зоны твердости. Первая с максимальной твердостью лезвия, непосредственно обрабатывающего почву, вторая – переходная, и третья зона монтажной части зуба с пониженной твердостью, причем в этой зоне наблюдается градиент твердости по толщине – твердость сердцевины на 2-3 единицы HRC ниже твердости у поверхности.

Завершающей стадией обработки был отпуск при температуре 200°C в течение двух часов с дальнейшим охлаждением на воздухе.

**Структурные характеристики прокатанных ножевых элементов кормоуборочной техники**

<sup>1</sup>Давидович Л.М., <sup>1</sup>Мазуренок А.В., <sup>2</sup>Лемеза А.А., <sup>2</sup>Давидович А.Н.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси

Особенностью конструкции ножевых элементов кормоуборочной 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 электротермомеханической 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. А последующая, в едином технологическом цикле электротермообработка, обеспечивает получение высокопрочного состояния металла с субмелкозернистой структурой.

В качестве материала для ножевых элементов использовали сталь 33ХС. При проведении структурного анализа были выявлены три различные структуры: в срединной части образца, в лезвии, обработанном обычной закалкой и в лезвии, дополнительно обработанном (термоциклической обработкой) ТЦО перед закалкой. В срединной части образца видны чётко выраженные карбиды на фоне металлической матрицы со следами направленности деформации полученной на стадии металлургического передела – продольной прокатки полосы. В лезвии, подвергнувшись обычной закалке, вследствие подавления процессов коагуляции, карбиды имеют более дисперсное распределение, а в лезвии, подвергнувшись предварительной ТЦО перед закалкой, карбиды имеют минимальный размер порядка 2-3 мкм и наиболее равномерно распределены по объёму образца. Высокая степень деформации в лезвии ножа приводит к образованию волокнистости структуры.

Сравнительный структурный анализ ножей импортного производства фирм Клаас, Кюн и Кроне показал высокое сходство структуры и механических свойств с результатами, полученными в данной работе.

**Исследование влияния технологических параметров процесса изготовления трубчатых изделий малого диаметра из ленты на силовые характеристики**

Карпицкий В.С., Карпицкий Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

При комбинированном способе получения трубок малого диаметра из ленты, формирование их в процессе изготовления производится путем одновременной свертки ленты в трубку в заходной части волоочильного инструмента и редуцирования изделия по наружному диаметру в переходной зоне волокни от наружной ее части колирующему пояску с последующим формированием качественного стыкового соединения за счет пластического деформирования сдвигом и дополнительным локальным воздействием на изделие в калибрующей части волокни.

Качество стыкового соединения получаемых трубчатых изделий в значительной степени определяется точностью исходной полосы (ленты) по ширине. Расчет ширины полосы для каждого типоразмера изделия производится методом развертки по нейтральной поверхности деформации с учетом коэффициента смещения нейтрального слоя, значение которого зависит от относительного радиуса изгиба. Кроме этого при осуществлении данного технического процесса, важно знать, как и при обычном волочении, величину напряжений, действующих в очаге деформации и усиление деформирования, так как эти параметры определяют максимально допустимую степень деформации за проход и тем самым маршрут волочения.

С учетом анализа выбора рекомендуемых технологических параметров существующих способов изготовления подобных изделий, экспериментальные исследования комбинированного способа получения трубок производим с использованием стандартных твердосплавных волок с углом конусности  $12^\circ$  и длиной калибрующей части 1,5 мм. Количество проходов и, соответственно, количество волок в блоке волочения определяли в зависимости требуемого диаметра изделия со средней разовой степени деформации 13-15% за проход.

Так, например, при изготовлении трубок из стали X15H9T диаметром 1,2 мм с толщиной стенки 0,2 мм из полосы шириной 3,9 мм процесс свертки осуществляли за три прохода со средней разовой степенью деформации 15%. Тянувшее усилие при этом составляло на первых двух проходах 150Н, на последнем переходе-200-220Н.



## Интенсификация процесса вытяжки при прокатке полос переменной толщины на оправке

Исаевич Л.А., Иваницкий Д.М., Сидоренко М.И., Нестерович М.Л.  
Белорусский национальный технический университет

В транспортном машиностроении широкое распространение получили полосовые упругие элементы, используемые в качестве демпферов динамических нагрузок. Такие элементы формообразуют прокаткой в виде полос переменной толщины. В ряде случаев, например, при прокатке рессор мостов большегрузных автомобилей имеет место большое уширение при нарастающем обжатии прокатываемого конца заготовки. Это приводит к увеличению отходов из дорогостоящей пружинной стали за счет обрезки концов по ширине. В НИЛ ОМД БНТУ была разработана технология процесса прокатки, позволяющая получать полосы переменной по длине толщины с минимальным уширением. Схема процесса представлена на рисунке.

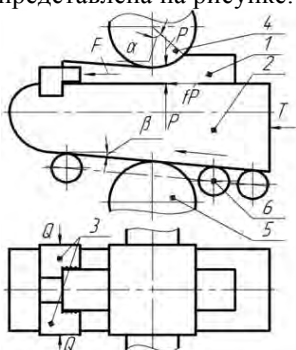


Рисунок 1 - Предлагаемая схема прокатки

Нагретую заготовку 1 размещают на калибрующей оправке 2 и зажимают губками 3 с силой  $Q$ . Оправке задается толкающее усилие  $T$  и полоса прокатывается неприводным рабочим валком 4. Затем губки 3 разжимают и снимают прокатанную заготовку рессоры. Нижний валок 5 и ролики 6 являются опорными.

Снижение уширения достигается за счет натяжения полосы, возникающего вследствие фиксации ее конца губками 3. В связи с этим более интенсивно проходит вытяжка заготовки по длине в процессе прокатки. Значение натяжения находится по формуле

$$F = P \cdot tg \frac{\alpha}{2} - fP,$$

где  $P$  – сила давления металла на деформирующий инструмент;

$f$  – коэффициент контактного трения между заготовкой и деформирующим инструментом.

Таким образом, размер рессоры по ширине после прокатки получается в пределах поля допуска, что позволяет избежать дополнительной операции обрезки.

## Конструктивные особенности бандажированного вала стана для асимметричной прокатки полос переменной толщины

Исаевич Л.А., Иваницкий Д.М., Сидоренко М.И., Крицкий А.Д.  
Белорусский национальный технический университет

Для асимметричной прокатки полос переменной толщины предложена конструкция составного бандажированного вала с двумя выступами на бандаже и двумя пазами на валу. Для обеспечения симметричности нагрузки на бандаже предложено использовать по два радиально расположенных выступа на бандаже и два паза на валу (рис. 1).

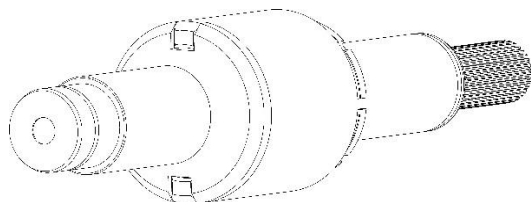


Рис. 1 Внешний вид бандажированного вала (1 вариант)

Как видно из рис. 1, на бандаже выполнены прямоугольные выступы, входящие в пазы на фланце вала и воспринимающие номинальный крутящий момент в процессе прокатки. В осевом направлении бандаж фиксируется на валу двумя гайками. С целью увеличения прочности соединения бандажа и вала, а также обеспечения равномерности распределения крутящих моментов разработана конструкция составного вала, представленная на рис. 2.

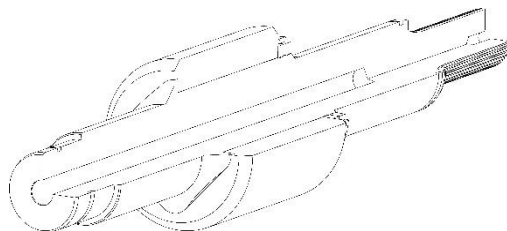


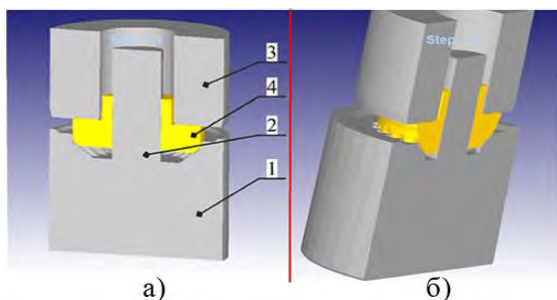
Рисунок 2- Внешний вид бандажированного вала (2 вариант)

На валу выполнен ромбический фланец (рис. 2), входящий в зацепление с пазом бандажа, предложенное соединение также фиксируется на валу двумя гайками.

## Моделирование в DEFORM-3D процесса сферодвижной штамповки конического зубчатого колеса

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А., Кособуцкий А.А.  
Белорусский национальный технический университет

Для моделирования использовались 3D-модель матрицы, модель пуансона и модель заготовки, построенная по чертежам заказчика (Минский тракторный завод) самостоятельно для первого перехода штамповки (рис. 1, а) и 3D-модель матрицы и модель пуансона, выполненные по чертежам и модель заготовки, перенесенная после моделирования первого перехода на модель для второго перехода (рис. 1, б).



а) первый переход;

б) второй переход

1-матрица; 2-оправка матрицы; 3-пуансон; 4-заготовка  
3D – модель инструмента и заготовки для сферодвижной штамповки конического зубчатого колеса

Во время моделирования удобно пользоваться функцией предварительного просмотра для проведения предварительного анализа основных параметров (деформации, скорости деформации, напряжения и показателя разрушения) и их корректировки.

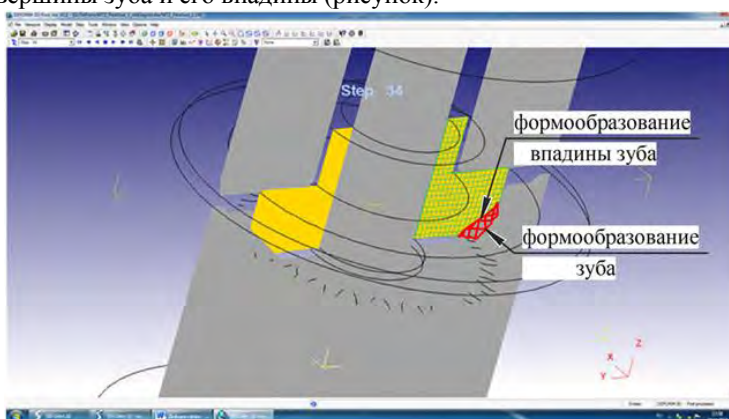
Рассчитанные в результате моделирования величины распределяются, как правило, в узлах (перемещения, скорости перемещения) или элементах (компоненты тензоров деформации, скорости деформации и напряжения) конечно-элементной сетки. При отображении характеристик, распределенных по элементам, предварительно осуществляется их осреднение по узлам сетки. При этом внутри элемента каждая величина представляется линейной функцией.

Для отображения таких функций используют линии уровня и цветковые карты, в которых области, отвечающие разным диапазонам значений функции, закрашиваются разными цветами.

## Исследование пластического течения при формообразовании конического зубчатого колеса сферодвижной штамповкой

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А., Кособуцкий А.А.  
Белорусский национальный технический университет

Для анализа пластического течения металла при формообразовании зубчатого венца применялся метод координатной сетки. Сетка задавалась с размером ячейки 2мм и создавалась в постпроцессоре программы 3D-Deform. Причем исследовалось течение металла в сечениях формирования вершины зуба и его впадины (рисунок).



Характер перераспределения металла при формообразовании зуба конического колеса

В результате исследований установлено, что максимальные значения напряжений концентрируются на внешнем торце конического колеса в районе формирования заусенца.

При формообразовании впадины зуба наблюдается закономерное перераспределение металла, когда вытесняемый металл перетекает во впадины зубчатого венца матрицы, формируя зубья конического колеса (рисунок 1). В результате наблюдается смещение координатной сетки из плоскости формообразования впадины зуба на контактную поверхность выдавливаемого зуба.

Кроме того, у основания зуба существуют области перехода значительных сжимающих напряжений с растягивающими. Знакопеременная нагрузка у основания зубьев матрицы повышает вероятность возникновения и развития трещин и, как следствие, разрушение инструмента.

## **Прессование порошковых материалов в тонкостенном контейнере**

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Металлокерамические порошковые материалы, как правило, характеризуются плохой формуемостью и прессуемостью. Из-за значительной жёсткости керамических порошков прочность отпрессованных брикетов оказывается недостаточной для дальнейшей технологической обработки. Во многих случаях из-за невысокой прочности отпрессованные изделия разрушаются при выпрессовке из контейнера.

При прессовании порошковой заготовки в жестком контейнере под действием бокового давления размеры канала контейнера упруго увеличиваются. После снятия деформирующего усилия спрессованная заготовка в результате упругого последействия контейнера подвергается действию радиальных сжимающих напряжений, что при невысокой прочности прессовки приводит к возникновению в ней трещин, расслоений, сколов или полному ее разрушению непосредственно в контейнере или при выпрессовке из него.

В связи с этим возникает необходимость изменения классической схемы прессования с целью улучшения условий формования и беспроблемного извлечения прессовки из контейнера. Суть предлагаемой технологии прессования в тонкостенном упруго деформируемом контейнере заключается в следующем.

Перед прессованием или в процессе прессования тонкостенный контейнер подвергается радиальному обжатию, в результате чего рабочий канал контейнера упруго уменьшается. После снятия деформирующего усилия и радиального давления на контейнер последний восстанавливает свои первоначальные размеры и между контейнером и спрессованным брикетом образуется зазор. Наличие зазора предотвращает разрушение изделия за счет исключения силового воздействия со стороны контейнера и обеспечивает его свободное извлечение.

Такой метод может быть использован для прессования тонких пластин, колец и тонкостенных втулок, в том числе весьма малой плотности. Для прессования колец и втулок используются два концентрично расположенных тонкостенных упруго деформируемых контейнера, формирующие наружный и внутренний диаметры изделия.

# **Материаловедение в машиностроении**

**Влияние стальной подложки с термодиффузионным слоем  
на микроиндентационный отклик поверхности с PVD покрытием**

Константинов В.М., Ковальчук А.В., Ткаченко Г.А.  
Белорусский национальный технический университет

Толщины получаемых вакуумным осаждением упрочняющих покрытий наряду с уровнем их эффективной жесткости зачастую не в состоянии обеспечить высокую несущую способность покрытий на реальных деталях. Это связано с тем, что свойства тонких твердых покрытий ограничиваются, в том числе, свойствами материалов, на которые они наносятся, так как в процессе изнашивания помимо самого покрытия пластическую деформацию воспринимают и накапливают приповерхностные объемы деталей – материал подложки. Кроме того подложка участвует в формировании фазового состава переходной зоны, картины напряженного состояния поверхности и ее интегральных свойств.

В данной работе исследованы дюрометрические и трибологические свойства двухслойных систем типа «термодиффузионный слой – PVD - покрытие TiAlN». В качестве предварительного упрочнения стальной подложки использовали карбонитрацию, ИПА, однофазное и двухфазное борирование, затем наносили покрытие TiAlN толщиной 3-5 мкм путем контролируемого магнетронного нанесения в среде реактивных газов.

Установлено, что предварительная ХТО стальной подложки приводит к повышению значений нанотвердости поверхности с покрытием TiAlN не менее чем в 1,9 раза, модуля упругости в 1,7 раза, индекса пластичности  $H/E^*$  на 14 %, показателя упругого восстановления  $H^2/E^*$  и сопротивления пластической деформации  $H^3/E^{*2}$  более чем в 2,1 и 2,4 раза соответственно.

Микротвердость двухслойных систем существенно выше, а увеличение микротвердости с уменьшением прикладываемой нагрузки больше, чем для покрытий TiAlN на подложках без диффузионного слоя. Это указывает на то, что покрытие TiAlN не продавливается, а с учетом своей толщины привносит значительный вклад в результирующие свойства поверхности.

Показано, что предварительное упрочнение подложки в результате ХТО позволяет до 3,3-13,2 раза повысить интегральную микротвердость и до 2,0-3,4 раза износостойкость в условиях сухого трения скольжения поверхности с покрытием TiAlN за счет наличия протяженного упрочненного подслоя, который привносит вклад в упругое восстановление покрытия и общий индентационный отклик поверхности.

Полученные результаты могут стать основанием для снижения толщины PVD покрытий в аналогичных слоистых системах без потери в свойствах упрочняемой поверхности.

**Исследование триботехнических свойств литейного силумина АК15МЗ с целью замены антифрикционных бронз**

Кукареко В.А., Тышкевич Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Замена дорогостоящих антифрикционных бронз на экономичные алюминиевые сплавы для изготовления узлов трения является актуальной задачей. В связи с этим целью работы являлось сравнительное исследование триботехнических свойств образцов из антифрикционной бронзы БрОЦС6-6-3 и алюминий-кремний-медного сплава АК15МЗ.

Триботехнические испытания сплавов проводились в режиме граничного трения на машине трения МТВП по схеме возвратно-поступательного перемещения призматического образца ( $10 \times 5 \times 5$  мм) из исследуемого сплава по пластинчатому контртелу, изготовленному из закаленной среднеуглеродистой стали 45 ( $520-600$  HV 30). Скорость взаимного перемещения образца и контртела составляла  $V=0,1$  м/с. Номинальная удельная нагрузка испытаний варьировалась в диапазоне от 10 до 100 МПа. Для определения линейного износа был использован метод искусственных баз.

Твердость бронзы БрОЦС6-6-3 составляла 110 HV 30. При удельной нагрузке испытаний 50 МПа, образец бронзы БрОЦС6-6-3 обладает низкой износостойкостью, и интенсивность линейного изнашивания составляет  $I_h=3,5 \cdot 10^{-7}$ . В случае уменьшения удельной нагрузки испытаний до 30 МПа интенсивность изнашивания образцов бронзы снижается до значения  $2,9 \cdot 10^{-7}$ . После проведения триботехнических испытаний при удельной нагрузке 15 МПа регистрируется дальнейшее понижение интенсивности изнашивания ( $I_h=0,8 \cdot 10^{-7}$ ). Минимальное значение интенсивности изнашивания  $0,75 \cdot 10^{-7}$  регистрируется при нагрузке 10 МПа.

Твердость силумина АК15МЗ составляла 155 HV 30. При удельной нагрузке испытаний, равной 50 МПа ( $V=0,1$  м/с) интенсивность линейного изнашивания силумина составляет  $I_h \approx 0,9 \cdot 10^{-8}$ , что существенно ниже (в 35 раз) интенсивности изнашивания бронзы БрОЦС6-6-3.

Сделано заключение, что антифрикционный силумин АК15МЗ может выступать в качестве перспективного антифрикционного материала для замены дорогостоящей бронзы БрОЦС6-6-3 в узлах трения без снижения их рабочих параметров.



Ситкевич М.В., Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Процесс борирования осуществляется из порошковых сред, расплавов, обмазок, газовых сред, плазмы тлеющего разряда и других, в результате насыщения свойства диффузионных слоев могут изменяться в широком диапазоне. В последние годы активно исследуется направление высокочастотного индукционного нагрева для технологии борирования из обмазок, которое позволяет значительно интенсифицировать процесс, сократить продолжительность насыщения от нескольких часов до нескольких минут.

В работе исследовали влияние режимов индукционного нагрева, в частности термоциклирования, на структуру борированных слоев полученных из обмазок на основе карбида бора. Решающим фактором, влияющим на структуру и свойства борированного слоя при ТВЧ-нагреве является температура. При проведении борирования начиная с температуры 1100-1150 °С традиционная иглоподобная структура диффузионного слоя на низкоуглеродистых конструкционных сталях не образуется, а образуется эвтектика. За 5 минут выдержки при температуре 1100 °С при однократном нагреве токами высокой частоты образовался слой порядка 120 мкм, в среднем со скоростью 25 мкм/мин, а при термоциклировании 60 мкм. Отмечено, что в результате однократного нагрева образуется доэвтектическая структура с участками перлита. Интегральная микротвердость эвтектической составляющей составляет HV 7800±1500 МПа, перлитной – HV 2920±450 МПа. Размеры дендритов перлита зависят от режима обработки и прежде всего от скорости охлаждения и составляют в среднем от 10 до 30 мкм. Необходимо отметить, что после распада аустенита и выделения феррито-цементитной смеси, в нем растворяется около 0,15 % бора, поэтому речь можно вести о бористом перлите. При проведении термоциклирования образуется полностью эвтектическая композиция с ярко выраженной границей раздела. Отмечено резкое изменение структуры основного металла, перегрев и соответственно образование структуры видманшетта.

В работе подтверждена эффективность борирования из обмазок при ТВЧ-нагреве, но отмечается важность выбора режима обработки и состава обмазки. При использовании термоциклирования в рассматриваемом температурном интервале образуется полностью эвтектическая структура, но скорость образования слоя падает, практически в два раза.

**Современные методы активации поверхностных слоев и газовой атмосферы для термодиффузионного азотирования**

Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет,

Существующие методы азотирования не используют многие потенциальные возможности для его интенсификации и повышения эффективности. Под активированием понимается дополнительное воздействие, перед обработкой, или непосредственно в процессе азотирования, физических и химических факторов, вызывающих ускорение процесса диффузии, образование диффузионного слоя с высокими физико-механическими свойствами.

Активация для термодиффузионного азотирования на этапах предварительной обработки поверхности перед насыщением, может выражаться, например, механоактивацией или прошивкой сгустком порошковых частиц, нанесением специальных гальванических покрытий (меднение, цинкование), проведением предварительного оксидирования в течение 5...10 мин при температурах 550 – 620 °С и т.д.

Активация для термодиффузионного азотирования на этапе обработки выражается в управлении непосредственно процессом азотирования, т.е. технологическими параметрами обработки. Это реализация термоциклирования, обработка пульсирующей плазмой (для ионно-плазменного азотирования), изменение состава азотирующей атмосферы. Добавки в насыщающую среду хлора и его соединений положительно влияют на процесс, связано это с более эффективным разрушением окисных пленок, а для ионно-плазменного азотирования с повышением химической активности плазмы и ростом интенсивности электронной эмиссии с обрабатываемой поверхности. Важным направлением активации является совмещение обработки с воздействием электромагнитных полей. Эффективным является применение ультразвука, переменных электромагнитных полей высоких частот и сверхвысоких частот. Для ионно-плазменного азотирования такая эффективность использования обусловлена высокой химической активностью плазмы, а также наличием возможности управления ее химическим составом и потоками заряженных и нейтральных частиц на обрабатываемую поверхность.

Важным с точки зрения интенсификации процесса азотирования является также применение специальных сталей с подобранной системой легирования.

## Особенности реализации процессов цинкования в электромагнитном поле

Ситкевич М.В., Булойчик И.А.

Белорусский национальный технический университет

Технологической особенностью реализации процессов индукционного термодиффузионного цинкования является использование циклического нагрева обрабатываемых деталей до температур (порядка 700- 800 °С), существенно превышающих температуры стандартных режимов реализации процессов ТДЦ. Реторта в этом случае изготавливается из нержавеющей стали, а применяемая для насыщения смесь содержит значительное количество инертного наполнителя, что предотвращает ее спекание в процессе нагрева.

Повышение диффузионной активности при реализации принципа индукционной обработки может происходить как при формировании цинкового диффузионного слоя за счет высокой скорости нагрева и повышенных температур в зоне реализации диффузионного процесса (700-800 °С), так и в цинковой насыщающей смеси при ее контакте с насыщаемой поверхностью – за счет создания эффекта жидкометаллической фазы. При цинковании в электромагнитном поле происходит формирование цинковых диффузионных слоев с преимущественным формированием  $\delta$ -фазы, обладающей с точки зрения эксплуатационных свойств оптимальным сочетанием прочности и коррозионной стойкости. Важной особенностью термодиффузионного цинкования в электромагнитном поле является протекание процесса насыщения железа цинком и цинка железом одновременно с процессом упрочнения защитного покрытия и поверхностного слоя подложки. Упрочнение происходит как вследствие формирования интерметаллидного диффузионного слоя, твердость которого значительно превышает твердость защищаемого металла, так и за счет упрочнения подложки вследствие разрушения крупных агломератов, формирования мелкозернистой структуры и увеличения поверхностной прочности материала.

Таким образом, в сравнение с традиционными способами формирования цинковых интерметаллидных диффузионных слоев индукционное термодиффузионное цинкование позволяет формировать цинковые диффузионные слои с преимущественным формированием  $\delta$ -фазы в поверхностной зоне насыщаемого изделия, обладающей наиболее выгодной совокупностью эксплуатационных характеристик (сочетание параметром микротвердости, пластичности и коррозионной стойкости).

**Получение покрытий на основе оксида тантала с электретными свойствами на титановых имплантатах**

<sup>1</sup>Багаев С.И., <sup>1</sup>Волочко А.Т., <sup>1</sup>Марков Г.В., <sup>1</sup>Смягликов И.П.,

<sup>2</sup>Бурмаков А.П., <sup>2</sup>Кулешов В.Н.

<sup>1</sup>ФТИ НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

В настоящее время в медицине большое внимание уделяется поиску имплантатов, обладающих остеоинтеграционными свойствами, для обеспечения их качественного сцепления с костной тканью. Одним из возможных способов придания остеоинтеграционных свойств металлическим имплантатам является формирование на их поверхности электретного отрицательного заряда. В качестве электретного материала предложено использование  $Ta_2O_5$ , так как он, являясь диэлектриком, имеет высокие механические характеристики и химически инертен.

Формирование покрытий на титановых имплантатах осуществлялась двумя способами: реактивным магнетронным напылением (РМН) тантала в  $Ar/O_2$  смеси и комбинированным способом, включающим магнетронное напыление слоя тантала толщиной до 0,5 мкм и последующее электрохимическое оксидирование (ЭО) имплантатов с танталовым покрытием. Электрization образцов выполнялась в коронном разряде.

Установлено, что способность удерживать нескомпенсированный поверхностный заряд пленок  $TaO_x$ , нанесенных методом РМН, низкая: через 9 дней поверхностный заряд на образце не регистрировался. При электрохимическом формировании покрытия  $TaO_x$  время сохранения электретного заряда составило более 90 дней. Обнаружено, что после ЭО образцов без обработки в коронном разряде на их поверхности сформирован поверхностный заряд, который имеет отрицательное значение -0,4 В при средней плотности заряда  $4,4 \cdot 10^{-4}$  Кл/м<sup>2</sup>. С течением времени поверхностный потенциал также как и для других типов образцов уменьшается, однако скорость его релаксации значительно ниже. Через 24 часа поверхностное напряжение снижается в 1,5 раза (до -0,32 В), через 9 дней – в 2 раза (до -0,2 В), через 90 дней – в 3,4 раза (до -0,11 В).

Наличие поверхностного заряда в слое можно объяснить внедрением в формируемое покрытие анионов из электролита, которые действуют как донорные центры в запрещенной зоне оксида тантала и могут выступать в роли электронных ловушек. В то же время изоляционный характер самого оксида тантала обеспечивает высокую стабильность объемного заряда.

**Влияние pH электролита на качество обработки  
при электролитно-плазменной полировке алюминиевых сплавов**

Соколов Ю.В., Паршуту А.А., Степанова-Паршуту Е.А.  
Белорусский национальный технический университет  
ФТИ НАН Беларуси

После механической обработки алюминиевых сплавов поверхностные слои имеют структуру с большим количеством дефектов как кристаллической решетки, так и поверхностные – царапины, оксиды, заусенцы, смазочными маслами и т.д. Важной задачей является очистка поверхностных слоев таких изделий для дальнейших операций или финишной обработки, при этом необходимо, удалить дефектные слои и заусенцы, очистить поверхности изделий от всех видов загрязнений. Для решения этой задачи способ электролитно-плазменной обработки (ЭПО) является весьма перспективным, так как он обладает рядом преимуществ: обработка деталей сложного геометрического профиля, использование водных растворов с низкими концентрациями химических веществ, отсутствие механического воздействия.

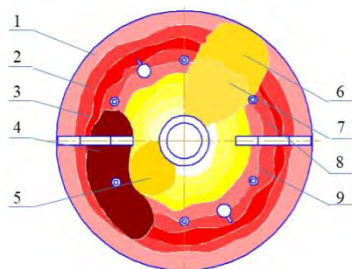
ЭПО сплавов алюминия проводят в электролите следующего состава: водный раствор щавелевой кислоты 1,0 мас.%, хлорида натрия 3,0 мас.%, трилона Б 0,1 мас.%. Однако, при работе с данным электролитом необходимо строго поддерживать его pH в пределах 4,1–4,4. В случае отклонения pH от оптимального значения качество обработки снижается, так при pH ниже 4,0 происходит снижение скорости съема металла, на поверхности появляются раковины, при этом параметр шероховатости *Ra* повышается. При pH выше 5,0 на поверхности формируются серые, полупрозрачные оксидные пленки, скорость съема снижается, параметр шероховатости *Ra* увеличивается. При соблюдении оптимальных режимов ЭПО: скорость съема составляла 3,0–4,0 мкм/мин, параметр шероховатости *Ra* до 0,05 мкм, отмечается характерный металлический блеск, отсутствие темных пятен на обработанной поверхности. Поддержание стабильного уровня pH осуществляется добавлением в электролит гидроксида натрия для повышения pH или щавелевой кислоты для его снижения.

Таким образом, контроль и соблюдение оптимального значения pH (4,1–4,2) электролита в процессе ЭПО приводит к стабильной и контролируемой скорости съема металла в процесс обработки алюминиевых сплавов и увеличению срока эксплуатации электролита с возможностью его корректировки.

## Энергосбережение в печах Ц-105

Стефанович В.А., Чайко Ю.В., Мельниченко В.В.  
Белорусский национальный технический университет

Энергосбережение при выполнении энергоемких процессов химико-термической обработки является эффективным способом снижения себестоимости продукции. На ряде предприятий применяется устаревшее оборудование для тепловой обработки деталей с низким к.п.д. Длительная эксплуатации и не своевременный ремонт приводят к разрушению футеровки в отдельных местах и как следствие высокие потери энергии. Все вышесказанное создает необходимость принятия мер по энергосбережению. Целью данной работы является анализ тепловых потерь шахтной печи Ц-105 и разработка мероприятий по энергосбережению. С помощью тепловизора было исследовано распределение температуры по поверхности кожуха. Установлено, что большая часть тепловых потерь приходится на крышку печи. Распределение температуры по поверхности крышки (рисунок) показало, что в отдельных местах температура достигает до 500°C. Для снижения энергопотерь было решено изменить конструкцию крышки и футеровать ее современными теплоизоляционными материалами из керамоволокон. Дополнительно поверхность крышки облицовать теплоизоляционными плитами. Тепловой расчет показал, что новая конструкция крышки позволит снизить температуру поверхности до 120°C, а замена старой футеровки, состоящей из слоя шамотного кирпича и слоя диатомовой теплоизоляции, на современные теплоизоляционные материалы позволит повысить термический КПД с 46 до 76%.



1 -  $t \approx 400^{\circ}\text{C}$ ;

2,8- $t \approx 420^{\circ}\text{C}$ ;

3-  $t \approx 450^{\circ}\text{C}$ ;

4-  $t \approx 500^{\circ}\text{C}$ ;

°C

Распределение температур по поверхности крышки печи Ц-105

## Исследование влияния давления распыляющего воздуха на структуру и твердость гиперзвуковых газотермических покрытий

Григорчик А.Н., Кукареко В.А.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Метод гиперзвукового газотермического напыления является эффективным способом создания защитных покрытий на поверхности металлических изделий, а также широко применяется для восстановления изношенных деталей узлов трения. Способ гиперзвуковой металлизации характеризуется высокой производительностью, повышенным коэффициентом использования напыляемого материала, а получаемые покрытия имеют низкую пористость. Однако, несмотря на многочисленные преимущества гиперзвукового напыления, свойства получаемых газотермических покрытий существенно ниже, чем монолитных материалов. В частности, повышенное содержание оксидов в напыленных газотермических покрытиях приводит к существенному снижению их физико-механических характеристик. В связи с этим, целью работы являлось исследование влияния давления распыляющего воздуха при гиперзвуковой металлизации на содержание оксидов в газотермических покрытиях из стали 40X13.

Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица – Объемное содержание фаз в газотермических покрытиях из стали 40X13, напыленных при различном давлении распыляющего воздуха

Давление распыляющего воздуха, МПа	$\alpha$ -Fe, об. %	$\gamma$ -Fe, об. %	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , об. %	FeO, об. %
0,1	75,4	11,8	12,1	0,7
0,2	77,2	5,8	16,2	0,8
0,3	66,1	14,3	19,8	0,8

Из представленных данных можно видеть, что с увеличением давления распыляющего воздуха суммарное содержание оксидов (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>+FeO) в напыляемых покрытиях из стали 40X13 существенно возрастает. Так, в процессе газотермического напыления при давлении распыляющего воздуха в 0,1 МПа суммарное содержание оксидов в покрытии составляет 12,8 об. %. При этом твердость покрытия достигает 350 HV 10. Увеличение давления распыляющего воздуха до 0,2 МПа сопровождается возрастанием содержания оксидов в покрытии до 17,0 об.%, а его твердость – 360 HV 10. Покрытие напыленное при давлении распыляющего воздуха в 0,3 МПа содержит 20,6 об.% оксидов и имеет твердость 410 HV 10. Таким образом, установлено, что увеличение давления распыляющего воздуха от 0,1 до 0,3 МПа при гиперзвуковой металлизации стали 40X13 приводит к повышению содержания оксидов в покрытии в 1,6 раза.

## Строение азотированных слоев после ионноплазменного и газового азотирования

Стефанович А.В., Мельниченко В.В., Лайко А.А.  
Белорусский национальный технический университет

В последнее время процесс азотирования находит все более широкое применение в промышленности. В основном используют два вида газового азотирования классическое в аммиаке и плазменное (PulsPlasma). Сравнительный анализ экономических и экологических показателей показывает что процесс ионно-плазменного азотирования (PulsPlasma) имеет преимущества перед газовым методом: более широкий диапазон температур насыщения, меньшее время обработки и расход энергии, экологическая безопасность. В данной работе представлены сравнительные данные после ионного и газового азотирования по строению диффузионного слоя и твердости на глубине 0,2 мм. Микроструктуры азотированных слоев сталей 40Х, 40ХМФА, 38Х2МЮА состоят из поверхностной зоны белого цвета (фазы  $\epsilon$  и  $\gamma'$ ) и сильноотравяющейся зоны (зоны внутреннего) азотирования. Измерение толщины  $\epsilon$  и  $\gamma'$  фаз показало что при газовом азотировании толщина данных фаз в азотированном слое больше, чем при ионном насыщении и составляет: при газовом азотировании для стали 40Х–16 мкм., 40ХМФА – 18 мкм., 38Х2МЮА – 20 мкм.; при ионном для стали 40Х– 15 мкм., 40ХМФА –13мкм., 38Х2МЮА – 15 мкм. (рис. 1).

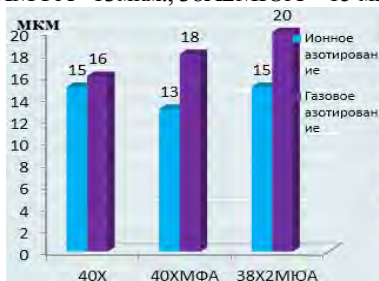


Рис. 1, а

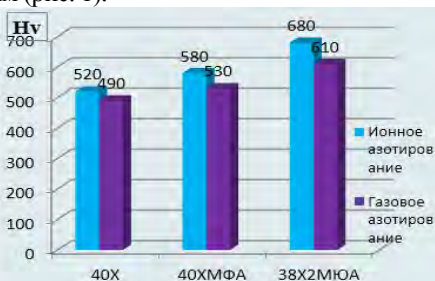


Рис. 1, б

Толщина  $\epsilon$  и  $\gamma'$  фаз (а) и твердость на глубине 0,2мм (б) после газового и ионного азотирования.

Исследования твердости (рис. 1,б) показало, что при ионно–плазменном азотировании твердость азотированного слоя на глубине слоя.2 мм выше на 30–70 HV по сравнению с газовым азотированием и составляет: для стали 40Х –520 HV, 40ХМФА – 580 HV, 38Х2МЮА – 680HV, что обеспечит большую износостойкость. Большая толщина  $\epsilon$  и  $\gamma'$  фаз на поверхности азотированного слоя при газовом азотировании, чем при ионном будет способствовать большей хрупкости диффузионного слоя.



**Формирование кальций- и фосфор содержащих оксидных покрытий  
на титановых сплавах**

Багаев С.И., Смягликов И.П., Чекан Н.М.  
ФТИ НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время особое внимание уделяется разработке технологий формирования биоактивных покрытий на имплантатах из титановых сплавов с целью достижения требуемого уровня интеграции имплантатов с тканями и надежного их закрепления в организме. Перспективным представляется покрытие на основе оксида титана с внедренными соединениями фосфата кальция. Кальций и фосфор являются основными химическими элементами кости, поэтому при процессах остеосинтеза покрытия данного типа будут способствовать более быстрому и качественному росту костной ткани на границе кость–имплантат

Формирование покрытий осуществлялось с помощью метода электролитно-плазменного оксидирования (ЭПО) с применением импульсного тока длительностью 3,3 мс и максимальным напряжением в импульсе 520 В. Установлено, что в результате ЭПО на поверхности титана происходит как образование оксида титана, так и внедрение компонентов электролита (анионов) в оксидный слой с концентрацией до 24 ат. %. Разработан водный электролит, содержащий 0,1 – 0,5 М СаО, 0,01 – 0,1 М  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , 0,1 – 0,5 М трилон Б. Вследствие того, что в данном электролите ионы кальция образуют комплексное соединение с трилоном Б, имеющее отрицательный заряд, происходит интенсивное внедрение кальция в состав оксидного слоя. Концентрация кальция в оксидном слое достигает 10,4 ат. %, фосфора – 13,6 ат. %. Соотношение концентраций Са/Р в покрытиях в зависимости от технологических параметров составляет от 0,7 до 2,1 (в костной ткани это соотношение равно 1,67). Толщина оксидного покрытия зависит от времени обработки и может варьироваться в пределах 1 – 10 мкм. Параметр шероховатости  $R_a$  в зависимости от технологических параметров изменяется от 0,5 до 4,6 мкм (при исходном значении  $R_a$  0,4 мкм). Установлено, что с ростом толщины оксидного покрытия пористость покрытий снижается, а диаметр пор возрастает. Диаметр пор при толщине покрытия 1 – 2 мкм составляет от 0,2 до 1,2 мкм, при толщине более 5 мкм – от 0,4 до 7 мкм. Рентгенофазовый анализ показал, что сформированные оксидные покрытия содержат как рентгеноаморфную фазу, так и кристаллическую фазу в виде  $\text{TiO}_2$  (анатаз, рутил) и  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

**Металловедческие аспекты в установлении обстоятельств отказа автомобильных электроламп накаливания**<sup>1</sup>Позняк И.Г., <sup>2</sup>Залужная О.Г.Белорусский национальный технический университет  
Государственный комитет судебных экспертиз Республики Беларусь

Из анализа экспертной практики известно, что значительная часть всех дорожно-транспортных происшествий, связанных с наездами на пешеходов и велосипедистов, а также возникающих при столкновении транспортных средств, происходит в темное время суток и при недостаточной видимости. Специфические особенности указанного вида происшествий служат основанием для назначения комплексной (автотехнической и металловедческой) экспертизы. На ее разрешение нередко ставятся вопросы о включенных или выключенных внешних световых приборах в момент их разрушения в результате столкновения транспортных средств. Методология исследования отказов автомобильных ламп накаливания основана на отображении информации, сохранившейся на поверхности тела накала вследствие физико-химических процессов, объективно протекающих при разгерметизации колбы и разрушении вольфрамовой спирали.

Проведенные металлографические исследования тела накала автомобильных галогенных электроламп при увеличениях более  $\times 300$  показали, что вольфрамовая проволока имеет чешуйчатое (тонкопластинчатое) строение с однонаправленным расположением пластинчатых макрокристаллов вольфрама вдоль оси проволоки. Установлено, что разрушение вольфрамовой спирали в точке «холодного старта» под действием ударной нагрузки происходит, как правило, с образованием хрупкого транскристаллитного или интеркристаллитного излома. В «горячем» состоянии образование изломов вольфрамовой проволоки происходит по механизму вязкохрупкого разрушения (переходный излом). Изучены основные факторы, оказывающие влияние на морфологию и фазовый состав термических оксидов, образованных на поверхности вольфрамовой проволоки при разгерметизации колбы. Определены виды сопутствующих физических явлений (деформация, оплавление, распыление частиц, пассивирование поверхности), которые могут происходить с телом накала на резистивной стадии его отказа.

Полученные в результате исследований данные позволяют с известной степенью точности реставрировать (восстанавливать) обстоятельства состояния светотехнических приборов транспортного средства в момент ДТП.

**Двухслойные износостойкие покрытия для направляющих прессов**

Ковальчук А.В., Дашкевич В.Г., Плетенев И.В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важных задач современного материаловедения является обеспечение соответствия свойств поверхности изделий все более жестким условиям их работы. Для решения этой задачи широко применяют методы нанесения защитных покрытий в вакууме путем физического осаждения с образованием высокотвердых соединений. Разработка и получение высокоэффективных вакуумных покрытий на деталях машин для Беларуси является актуальной задачей в связи с высоким уровнем потребности и значительной долей импорта материалов и технологий в данной области. В НИЛ упрочнения стальных изделий БНТУ разработан и защищен патентом способ комплексного поверхностного упрочнения сталей, заключающийся в сочетании двух взаимодополняющих упрочняющих воздействий: химико-термической обработки и нанесения PVD покрытия на базе системы Ti-Al-N. Получены новые износостойкие двухслойные композиты типа «термодиффузионный слой – PVD покрытие» толщиной 80...150 мкм и микротвердостью до 23-36 ГПа. Подробно исследовано структурное состояние, фазовый состав, микротвердость, износостойкость и защитные свойства полученных композитов, адгезия и трещиностойкость вакуумных покрытий на различных диффузионных слоях, оценено влияние регламентированного термического воздействия на интегральные свойства полученных композитов. Научно обосновано, что указанные слоистые системы являются новыми микрокомпозиционными материалами и могут быть эффективно использованы для упрочнения прецизионных стальных деталей трения в различных отраслях. Для этого разработаны лабораторные технологии упрочнения деталей золотников, плунжерных пар и штампов, предполагающие получение на их поверхности указанных двухслойных систем.

Полученные результаты позволили осуществить внедрение в технологический процесс на предприятии ООО «Завод НГПО» (г. Новополоцк, Республика Беларусь) технологию комплексного поверхностного упрочнения, включающую борирование и нанесение покрытия на базе Ti-N, для упрочнения направляющих пресса усилием 400 т. Применение разработанной технологии позволило повысить стойкость верхних направляющих в 2,9 раза, средних – в 4,0 раза, нижних – в 1,1 раза по сравнению с базовой технологией упрочнения, что позволило получить устойчивый экономический эффект.

**Пластическая деформация, как подготовительная операция  
обработки поверхности сплава Д16 перед высоковольтным  
электрохимическим оксидированием**

Соколов Ю.В., Паршутто А.А., Хлебцевич В.А., Степанова-Паршутто Е.А.  
Белорусский национальный технический университет  
ФТИ НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Сплав деформировали в свежезакаленном состоянии (температура нагрева 495...505 °С; охлаждающая среда – вода) прокаткой по дробному режиму; суммарная степень обжатия – 50%. Предварительная обработка поверхности образцов проводилась двумя методами: 1) химическое травление в растворе 10 мас.% NaOH и последующее осветление в водном растворе 25 мас.% HNO<sub>3</sub>; 2) электролитно-плазменная обработка (ЭПО) поверхности в электролите состава 1 мас.% щавелевой кислоты, 3 мас.% хлорид натрия и 0,1 мас.% трилон Б. Предварительная обработка обеспечивала различный уровень микрогеометрии рабочей поверхности сплавов перед высоковольтным электрохимическим оксидированием (ВВЭО). Параметр шероховатости поверхности Ra 0,45 мкм и 0,19 мкм после химического травления и ЭПО соответственно.

Результаты рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о развитии текстуры прокатки. На дифрактограммах прослеживается перераспределение интенсивностей дифракционных линий кристаллической структуры, по отношению к отожженному сплаву, и выход в отражающее положение преимущественно плоскости (220). Процесс ВВЭО проводили в электролите состава 4 мас.% щавелевой кислоты с одновременным погружением в ванну образцов, прошедших предварительную обработку поверхности каждым из методов.

После оксидирования на поверхности сплава обнаруживается аморфная пленка. Причем толщина аморфной пленки возрастает при переходе от химического травления поверхности к ЭПО. Свидетельство тому – снижение интенсивности дифракционных линий от металла-основы за счет поглощения рентгеновских лучей пленкой. Дифракционные линии от кристаллических фаз оксида алюминия на дифрактограмме не регистрируются. Аналогичное было установлено ранее и для сплава АМг2 после ВВЭО (Соколов Ю.В., Кукареко В.А., Паршутто А.А. Исследование оксидных пленок, полученных методом высоковольтного электрохимического оксидирования // *Металлургия. Респ. межвед. Сб. науч. тр.* – Минск: БНТУ, 2014. – Вып. 35. – С. 199 – 207). Вероятной причиной увеличения толщины оксидной пленки после ЭПО является менее развитая поверхность образцов по сравнению с химической обработкой.

## Исследование структурно-фазового состояния и твердости отливки из высокохромистой стали, полученной методом литья в керамические формы

<sup>1</sup>Григорчик А.Н., <sup>1</sup>Кононов А.Г., <sup>2</sup>Андриц А.А.

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы являлось исследование структурно-фазового состояния и механических характеристик отливки из высокохромистой стали, полученной методом точного литья в керамические формы. Литье исследуемой отливки из высокохромистой стали осуществлялось в керамические формы по технологии золь-гель (Sol-Gel). Данная технология позволяет получать точные изделия, которые не требуют последующей механической обработки.

Результаты рентгеноструктурного анализа образца отливки свидетельствуют о том, что фазовый состав включает в себя преимущественно  $\gamma$ -фазу, а также  $\alpha$ -Fe и карбид  $(Fe, Cr)_7C$ . На рис. 1 представлена характерная микроструктура отливки. Можно видеть, что структура отливки из высокохромистой стали содержит однородно распределенные дендриты  $\gamma$ -фазы в  $\alpha$ -Fe. Твердость отливки составляет 425 HV 10.

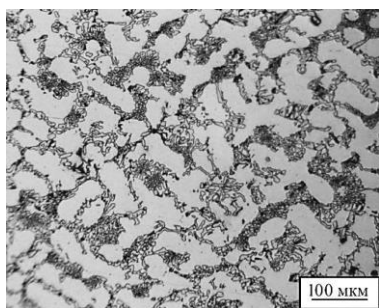


Рис. 1. Характерная микроструктура отливок из высокохромистой стали

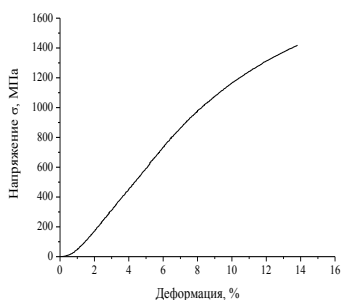


Рис. 2. Диаграмма нагружения образца отливки из высокохромистой стали

Предел текучести образца литой высокохромистой стали при сжатии составляет 945,4 МПа (рис.2).

Таким образом, технология точного литья высокохромистой стали в керамические формы, позволяет формировать отливки с высокими прочностными свойствами.

**Толщина и фазовая однородность нитридной зоны при азотировании активированных поверхностей изделий из конструкционных сталей**

Дашкевич В.Г., Судников М.А.

Белорусский национальный технический университет

Азотированию подвергаются стали различных структурных классов, а также чугуны и другие сплавы. В результате азотирования сталь приобретает высокую твердость на поверхности, не изменяющуюся при нагреве до 400 – 450 °С; высокую износостойкость и низкую склонность к задирам; высокий предел выносливости; высокую кавитационную стойкость; хорошую сопротивляемость коррозии в атмосфере, пресной воде и паре.

В данной работе представлены результаты анализа и экспериментов, направленных на расширение представлений о влиянии активации поверхностных слоев перед азотированием.

Для активации использовался процесс динамической прошивки стали сгустками порошковых частиц в твердом агрегатном состоянии. В рамках этого процесса поток микрочастиц прошивает сталь в твердом агрегатном состоянии за время менее чем 1000 мкс на глубины в сотни миллиметров. Далее проводилось ионно-плазменное азотирование образцов из низкоуглеродистой конструкционной стали.

В результате апробации процесса активирования поверхности прошивкой порошком фторида натрия и карбида кремния конструкционной стали 20, получены образцы с термодиффузионным азотированным слоем, обработанные по режиму: температура 560 °С, время 10 ч. В результате микроструктурного анализа выявлены процессы ускорения диффузионных процессов при химико-термической обработке предварительно активированной поверхности, за счет созданного дополнительного градиента концентрации, дефектности структуры и более эффективной работы активаторов на начальной стадии процесса насыщения.

Для стали традиционно не применяющейся для процессов азотирования диффузионный слой образовался по толщине незначительный, около 0,05 – 0,10 мм, причем преимущественно состоящий из зоны внутреннего азотирования, нитридный слой составил около 5 мкм. Морфология слоя практически идентичная традиционной, нитридная зона однородна, выделяются только несколько участков с более глубоким проникновением в стальную матрицу.

**Формирование диффузионных слоев на армко-железе при низкотемпературном борировании в порошковой среде**

Щербаков В.Г., Одарченко В.И.

Белорусский национальный технический университет

Борирование – один из наиболее эффективных и перспективных методов упрочнения поверхности для повышения срока службы деталей. Упрочнение при борировании металлов и сплавов происходит в результате образования на обрабатываемой поверхности металлоподобных соединений – боридов. Наиболее распространена технология борирования в контейнерах, заполненными порошками аморфного бора, карбида бора, ферробора, ферроборала и буры. Изменением состава смеси и параметров обработки этот метод позволяет получить защитный слой, состоящий из двух интерметаллидных фаз (снаружи FeB, внутри Fe<sub>2</sub>B) или только из одной фазы (Fe<sub>2</sub>B). Таким образом целью данной работы являлось исследование кинетики формирования диффузионных однофазных слоев на армко-железе при низкотемпературном борировании в порошковых средах. В качестве насыщаемого материала были выбраны пластинки из армо-железа. Насыщающей средой являлась порошковая смесь для термодиффузионного однофазного борирования, разработанная сотрудниками НИЛ упрочнения стальных изделий. Обработку проводили при температурах 950, 850, 750 и 650 °С, продолжительность выдержки – 4 часа. Микрошлифы для микроанализа изготавливались по стандартным методикам. Твердость однофазных диффузионных слоев на армко-железе составляет порядка 1200-1300 HV. При температуре 950 °С толщина однофазного диффузионного слоя составляет 130-150 мкм. При снижении температуры обработки до 850 °С образуется слой толщиной 90-125 мкм. Дальнейшее снижение температуры насыщения до 750 °С и 650 °С приводит к формированию диффузионных слоев толщиной 60-80 мкм и 25-30 мкм соответственно. Таким образом, установлено, что одним из возможных методов регулирования толщины диффузионных слоев на обрабатываемых материалах является снижение температуры насыщения. Данная обработка целесообразна для деталей специфического назначения и порошковых материалов с боридным слоем определенной толщины.

Наличие боридного слоя определенной толщины при низкотемпературной обработке в порошковых насыщающих средах имеет минимальное влияние на сердцевину обработанного изделия и позволяет заранее прогнозировать получаемые после химико-термической обработки эксплуатационные свойства готового изделия.

## Диффузионное борирование металлических порошков при низких температурах

Щербаков В.Г., Астрашаб Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Борирование – процесс ХТО, при котором происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя детали бором. При борировании (одно- и двухфазном) на поверхности образуется слой  $Fe_2B$  либо  $Fe_2V$  и  $FeV$ . Борирование существенно повышает такие характеристики как твердость, износостойкость и коррозионную стойкость. Высокая окислительная стойкость (до  $800\text{ }^{\circ}C$ ) и теплостойкость. Это позволяет работать деталям с высокими механическими и тепловыми нагрузками. Повышение содержания в стали углерода снижает твердость  $FeV$  и практически не влияет на твердость  $Fe_2V$ . Вносят свое влияние на твердость боридного слоя и легирующие элементы но особых закономерностей нет.

Однофазное борирование (толщина слоя до  $150\text{ }\mu m$ ) на  $20-50\%$  увеличивает усталостную прочность конструкционных сталей, а двухфазное – уменьшает. Основным преимуществом борированных деталей является их высокая износостойкость в различных условиях эксплуатации (трении скольжения, абразивном и гидроабразивном изнашивании). На износостойкость борированных деталей в условиях значительных нагрузок заметное влияние оказывает структура и твердость переходной зоны. В этом случае закалка и отпуск борированных деталей благотворно влияют на их износостойкость. Стойкость детали после борирования увеличивается в  $2-10$  раз.

Отдельно стоит отметить особенности диффузионного легирования (ДЛ) микрообъектов. Основным классификационным признаком является степень легированности полученного порошка. Эффективным является более широкое использование дисперсных металлоотходов в качестве сырья для ДЛ-процессов. Полученный однофазный диффузионный поверхностный слой имеет микротвердость в  $1,5-2,5$  раза выше микротвердости основы, что придает значительно лучшую износостойкость. Таким образом, низкотемпературное борирование в порошковых насыщающих средах позволяет регулировать температурно-временными параметрами насыщения и достаточно точно формировать диффузионные слои заданной толщины на обрабатываемых материалах. Для повышения толщины диффузионного слоя на обрабатываемом материале достаточно повышать температуру процесса, а для снижения толщины образовавшегося диффузионного слоя стоит сократить продолжительность процесса, либо снизить температуру насыщения.

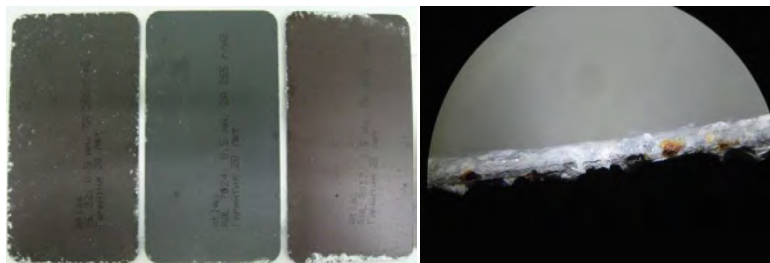


**Исследование коррозионной стойкости  
промышленных покрытий, применяемых для антикоррозионной  
защиты строительных элементов**

Константинов В.М., Булойчик И.А.  
Белорусский национальный технический университет

На испытания был представлен ряд образцов строительных элементов с нанесенными дуплекс-покрытиями на основе цинка и полиэстера различных модификаций. Исследования деталей проводились в камере соляного тумана с применением комбинированного режима распыления 5% водного раствора хлорида натрия при 50 °С и конденсации влаги (95% влажности) в течение 240 ч. Оценка коррозионной стойкости испытуемых деталей производилась по времени до появления первых продуктов коррозии стальной основы деталей.

К концу испытаний (240 ч.) для всех типов образцов отметили отсутствие сквозного коррозионного поражения стальной основы на центральных участках (площадь участка образца на расстоянии 10 мм от каждой грани). Однако, для всех образцов характерно наличие продуктов взаимодействия коррозионно-активной среды и цинкового защитного слоя, а так же точечного коррозионного поражения стальной основы деталей с наибольшей концентрацией на торцевых участках образцов (рисунок), что связано с особенностями производства и монтажа такого типа строительных элементов, заключающихся в отсутствии защитного покрытия на гранях деталей.



*а)*

*б) Грань Х40*

Состояние поверхности образцов после коррозионных испытаний

УДК 669.018:621.793

## Сравнительные триботехнические испытания композиционных материалов, полученных методами литейного производства и высокоэнергетическим воздействием

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Армированные литые композиционные материалы (ЛКМ) относятся к числу наиболее перспективных конструкционных материалов. В настоящее время хорошо развиты теоретические основы механики армированных ЛКМ, существенные успехи достигнуты в материаловедении. Однако имеется еще много проблем, связанных с выбором оптимальной технологии, обеспечивающей достижение на практике предсказываемых теорией свойств композитов, управления межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и свойств ЛКМ. Композиционные материалы на основе меди разрабатывают, главным образом, триботехнического назначения, так как они обладают повышенными механическими свойствами. Для триботехнических испытаний были изготовлены образцы следующие образцы (Рисунок): 1 - ЛКМ упрочненный лазерной закалкой, 2 - такой же образец получаемый по стандартной технологии термического синтеза и 3 - образец синтезированный методом индукционного нагрева.



Образцы композиционных материалов, машина для проведения испытаний и образец закрепленный в ней

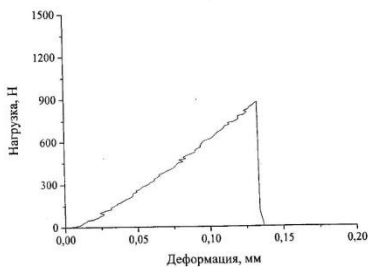
Испытания проводились при трении по испытываемому образцу из КМ стержня изготовленному из стали У5 (рисунок), совершающего как вращательное так и возвратно поступательное движение. Скорость вращения стержня составляла 37 об/мин, нагрузка на стержень 3500 гр., время испытания 60 мин. Было выявлено, что потеря массы образцов составила не более 0,04 г. при этом Наиболее высокий результат был получен у ЛКМ полученного по стандартной технологии, далее шел образец полученный высокоэнергетическим воздействием и замыкал образец подвергнутый лазерному упрочнению.

Калиниченко В.А.

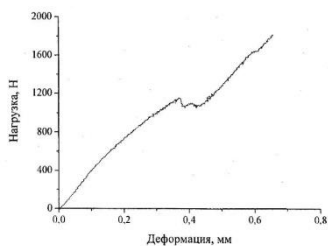
Белорусский национальный технический университет

Для макронеоднородных композиционных материалов, применяемых в узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего элемента. Если в качестве армирующего элемента, в основном, используется литые гранулы чугуна марки ДЛЧ диаметром порядка 1 мм, то в отношении состава матрицы имеется широкий спектр подходящих материалов, которые удовлетворяют поставленной задаче (повышенная прочность на сжатие, низкий коэффициент трения и высокая износостойкость). Однако прочностные характеристики дробы, во многом определяют срок службы и работоспособность изделия из ЛКМ.

Для прогнозирования свойств синтезируемых материалов было принято решение об оценке прочностных свойств дробы ДЛЧ поставляемой заводом производителем и такой же дробы термически обработанной по методике разработанной на базе БНТУ. Исследования на прочность при сжатии проводились по 10 образцам (дробина диаметром 1 мм), и показали практически одинаковую картину разрушения.



а



б

Диаграммы нагружения чугунной дробы на сжатие: а – не обработанная дробь, б - обработанная

Как видно из рисунка 1 дробь с заводской закалкой полностью разрушилась (раскололась) при нагрузке в 90 кг, в то время как обработанная дробь выдерживала нагрузку около 120 кг. после чего начинала пластически деформироваться. Данные исследования показали, что процесс термической обработки дробы принципиален при использовании ее в трибозементах.

Андрушевич А.А., Кучук Д.В.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Пористые изделия, полученные в результате спекания дисперсных компонентов (порошков, волокон) или другими способами (литьём, вспениванием, полимеризацией и др.), образуют совокупность большого числа взаимосвязанных пор, характеризующихся различными размерами, формой и распределением. Традиционные методы отходят на второй план, а на смену им приходят более производительные аддитивные металлургические технологии (AM) 3D-печати изготовления изделий самой различной конфигурации. Широкое промышленное применение получили технологии FDM, SLM и DMLS, каждая из которых основана на плавлении металлического материала. Их использование дает возможность сформировать структуру пор, благоприятную для фильтрации очищаемых сред, шумоглушителей и конкурировать с пористыми металлами, изготовленными традиционными методами порошковой металлургии и литья. 3D-печать представляет особый интерес тем, что возможно получение деталей с пористостью, которая достаточно легко регулируется в широком интервале. Изготовленные пористые материалы предусматривают в изделиях открытые и закрытые поры. Перспективность AM основывается на ряде преимуществ и позволяет сократить на 30% затраты, связанные с приобретением исходных материалов, повысить производительность на 5-30%, снизить себестоимость на 30% по сравнению с используемыми технологиями. Металлический расплав получали с помощью высокочастотного лазера высокой мощности. В качестве рабочей основы использовался порошок алюминиевого сплава марки АК12, который прошел измельчение и просев ( $d_{50}=50$  мкм). Технология печати - SLM (выборочное лазерное плавление) и принтер фирмы VADER System модели Mark1 с потребляемой мощностью 2 кВт, размерами рабочей камеры 230x270x200 мм, скорость печати составляла 2 см<sup>3</sup>/мин. Экспериментально установлено возможности изготовления пористых изделий с размерами пор до 0,05 мм. При этом достигается большая равномерность порораспределения с меньшим образованием закрытых пор в формируемом материале (в 2-3 раза). Исследования показали возможность применения AM для получения пористых изделий конкретного назначения на основе алюминия при производстве, эксплуатации и ремонте деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники (сложные корпусные изделия, фильтры, шумопоглотители и др.).

**Формирование литых деталей из алюминиевых композиционных материалов**

Андрушевич А.А., Чурик М.Н.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Применение алюминиевых литейных сплавов для изготовления деталей ответственного назначения, несмотря на присущие им физико-механические и эксплуатационные свойства, ограничивается температурно-силовыми факторами. Для повышения прочности, твердости, износостойкости изделий в последнее время используют литые композиционные материалы (ЛКМ) на основе алюминия, армированные пористыми каркасами, полученными методами порошковой металлургии из оксидов, нитридов, карбидов, волокон различных металлов. Исследовали технологические параметры макрозоны упрочнения отливок сложной формы, получаемых литьем в кокиль с пропиткой алюминиевым расплавом армирующих каркасов из керамических волокон. Упрочняющий каркас требуемой геометрии устанавливался в кокиль, имеющий внизу выталкиватель, а сверху металлический стержень, в котором предусмотрены специальные каналы для подачи сжатого газа на поверхности расплава. Давление на сплав поддерживалось до полного затвердевания отливки или снималось сразу после пропитки каркаса. Исследованы условия, достаточные для качественной пропитки алюминиевым расплавом (11-13%Si, 0,8-1,5%Cu, 0,8-1,3%Mg, 0,8-1,3%Ni, Al-остальное) пористого каркаса из мелкодисперсных оксидных волокон, несмачиваемых расплавом. Использовали каркасы диаметром 86 мм, высотой 30мм плотностью 0,14 и 0,25 г/см<sup>3</sup> из волокон оксида кремния; плотностью 0,25 г/см<sup>3</sup> из алюмосиликатных волокон диаметром 1-5 мкм. Разработана технология получения алюминиевых композиционных отливок дизельных поршней литьем в кокиль путем пропитки армирующих каркасов различных зон заготовок (днище поршня, зону верхней канавки и «жарового пояса», зону кромок камеры сгорания и др.).

Упрочняемые зоны содержали до 50% волокон различных оксидов (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.) и металлических волокон с широким спектром свойств: твердость до 160 -170 НВ, износостойкость на уровне нирезиста и в 6 - 10 раз выше, чем у матричного сплава; прочность при 350<sup>0</sup>С на 20-30 МПа больше, при их хорошей обрабатываемости резанием.

Полученные результаты показали возможность применения ЛКМ для изготовления деталей автотракторных двигателей, испытывающих повышенные механические и термические нагрузки, с упрочнением зон отливок, к которым предъявляются особые эксплуатационные требования.

**Влияние пористости на прочностные свойства склеенных материалов**

Калиниченко М.Л., Зелезей А.Е.

Белорусский национальный технический университет.

В настоящее время актуальным остается вопрос крепления пористого металлического тела, как между собой, так и в соединении с компактной подложкой. На данный момент самым распространенным является метод крепления с помощью спекания (припекания). Основными параметрами данной технологии являются температура, время и использование защитных атмосфер[1]. В качестве ранее рассмотренного варианта применения адгезивов для создания крепления в работе были использованы клеевые составы компании 3М (США) [2]. Были проведены исследования по исследованию влияния пористости материала на его прочностные свойства в процессе склеивания. В качестве исходного материала в работе использовались пористые заготовки диаметром 27мм и 30 мм из порошка титана марки ТПП-4 с различным размером частиц, а в качестве материала подложки коррозионно-стойкая сталь Х18Н9Т. Подготовка поверхности проводилась в соответствии со стандартными методиками, разработанными компанией 3М. Испытания образцов на отрыв проводились разрывной машиной Instron 300LX, данные обрабатывались с помощью программы Bluehill 2 (таблица).

**Прочностные испытания на отрыв**

Номер образца	Размер частиц, мм	Диаметр пятна контакта, мм	Максимальная нагрузка, кН	Прочность, МПа
1	0,1-0,16	27	4,676	8,171
2	0,4-0,63	30	8,568	12,127
3	0,63-1	30	9,487	13,428

Было выявлено, что при тех или иных условиях процесс склейки может конкурировать с традиционным прессованием по физико-механическим свойствам. Установлено, что процесс склейки может заменить процессы традиционного прессования и спекания в традиционной технологии получения компактно пористых материалов (КПМ). Оптимизация данной технологии позволит отказаться от дорогостоящего оборудования в порошковой металлургии и ускорить совместно с удешевлением процесс производства пористых и КПМ.

**Литература**

1. Ивенсен В.А. Феменология спекания. М. Металлургия, 1985, 240с.
2. Калиниченко М.Л., Калиниченко В.А. Сборник научных трудов Х МНТК. Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Минск: ФТИ. 16-18.09.2015. Кн. 2. С. 196-199.

**Исследование заполнения пор адгезивом в пористом материале**

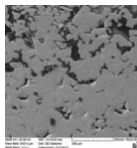
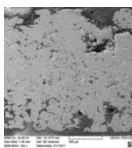
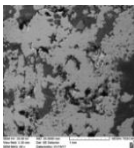
Калиниченко М.Л., Зелезей А.Е.

Белорусский национальный технический университет.

Капилляры правильной геометрической формы называются элементарными капиллярами (цилиндрические, конические капиллярные трубки, капиллярные щели и т. д.). Такие капилляры являются моделями капиллярных пор и применяются для анализа поведения жидкости в капиллярно-пористых телах [1].

В нашем случае в виде текучего заполнителя исследовался адгезив фирмы 3М (США) DP 8805 в капиллярно-пористом теле спеченного порошка титана марки ТПП-4 с различной фракцией (Таблица).

Заполняемость пор адгезивным составом

Номера образцов	1	2	3
Вид образца при увеличении	 x312	 x102	 x60
Размер частиц, мм	0,1-0,16	0,4-0,63	0,63-1

Было выявлено, что при соблюдении технологической карты, разработанной на базе НИИЛ ПТФ БНТУ, процесс склейки может конкурировать с традиционным прессованием по физико-механическим свойствам. При соблюдении правила корреляции диаметра канала капилляра в пористом теле спрессованной таблетки и коэффициента смачиваемости адгезивного состава. Установлено, что процесс склейки может заменить процессы традиционного прессования и спекания в традиционной технологии получения компактно пористых материалов (КПМ). Оптимизация данной технологии позволит отказаться от дорогостоящего оборудования в порошковой металлургии и ускорить совместно с удешевлением процесс производства пористых и КПМ.

**Литература**

Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. Гос. изд. технико-теоритической литературы. Москва, 1954. 298 с.

**Процессы  
механической обработки  
материалов и режущий  
инструмент**



**Анализ стружкообразования на основе виртуальной модели нарезания зубьев червячной фрезой с прогрессивной схемой резания**

Ажар А.В.

Белорусский национальный технический университет

Для анализа стружкообразования при нарезании зубьев червячной фрезой с прогрессивной схемой резания предложена виртуальная модель обработки зубчатого колеса (рис. 1, а). Прогрессивная схема резания реализована за счет разновысотности зубьев, поэтому количество червяков для такой фрезы равно количеству модификаций профиля (рис. 1, б). При моделировании виртуальные червяки поочередно входят в зацепление с заготовкой и, поворачиваясь на один зуб, удаляют часть материала. При каждом врезании виртуальные червяки смещаются в направлении оси и образующей начальной окружности изделия, а зубчатое колесо поворачивается на угол обката.

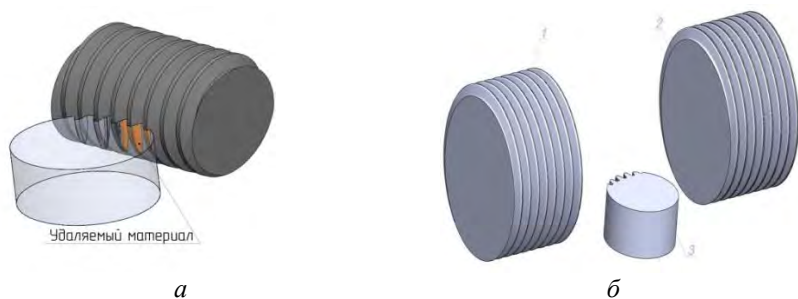


Рисунок 1 – Виртуальная модель обработки зубчатого колеса:  
1 – червяк четных реек; 2 – червяк нечетных реек; 3 – зубчатое колесо

Анализ результатов виртуальных испытаний показал, что при использовании прогрессивных фрез происходит четкое разделение срезаемых слоев, имеющих простую форму и профиль сечения, в отличие от П-образной формы стружки у фрез со стандартным профилем. Объем и площадь сечения среза меньше у фрез с разновысотными зубьями.

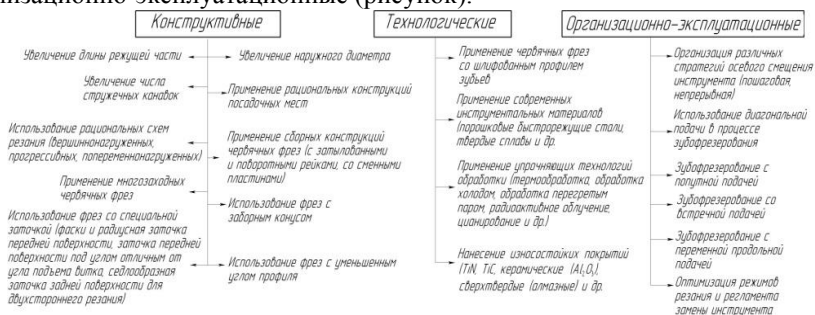
Недостаток прогрессивных фрез – неравномерное распределение удаляемого материала по рейкам червячной фрезы. Основной объем материала приходится на нечетные рейки. Данное распределение может стать причиной колебания нагрузок при резании и неравномерного износа зубьев четных и нечетных реек. Износ будет в значительной степени расти на наиболее нагруженных зубьях, то есть на нечетных рейках.

## Классификация методов улучшения работоспособности червячных зуборезных фрез

Ажар А.В.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность зубофрезерования определяет: производительность обработки, стойкость инструмента, качество обработанной поверхности. Существующие методы повышения параметров работоспособности червячных фрез можно разделить на: конструктивные, технологические и организационно-эксплуатационные (рисунок).



### Классификация методов улучшения работоспособности червячных зуборезных фрез

Анализ существующих технических решений выявил возможность увеличения длины фрезы и числа стружечных канавок. Увеличение числа стружечных канавок сокращает время обработки, уменьшает износ и увеличивает число огибающих. С учетом ограничений на полезную длину зуба и минимальный объем канавки возможно увеличение числа зубьев от 20 до 30. Показано, что стоимость инструмента не увеличивается в прямой пропорции от его длины. Вместе с тем установлено, что расчетный ресурс инструментов уменьшается в 2,9 раза при увеличении модуля от 1 до 20 мм. Это указывает на необходимость введения корректирующего коэффициента на длину при расчете фрез.

Таким образом, наиболее актуальными являются цельные «многозубые» фрезы увеличенной длины без посадочного отверстия с короткими цилиндрическими или коническими хвостовиками с обеих сторон из порошковой быстрорежущей стали с покрытиями из карбонитрида титана. При использовании прогрессивных схем резания наилучшие показатели у фрез с закругленной вершиной зуба и чередующимися зауженными на сторону и завышенными зубьями.

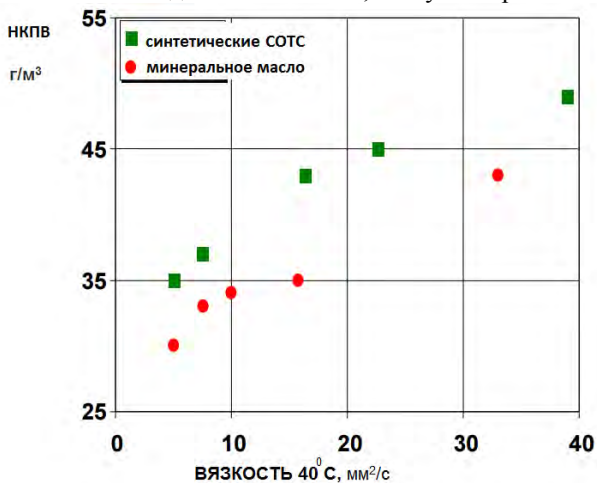
**Влияние новых СОЖ на пожароопасность станков**

Бабак Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для повышения эффективности обработки металлов на станках в настоящее время все шире используются несмешиваемые с водой СОЖ – минеральные или синтетические масла с присадками. Их подают в зону обработки под высоким (до 40 МПа) давлением. В результате формируется смесь паров СОЖ и воздуха, которая может воспламениться.

Температура вспышки, при которой происходит воспламенение паров масляных СОЖ (при одинаковой вязкости), выше всего у парафиновых углеводородов, затем идут нафтеновые и ароматические углеводороды. Важнейшим показателем пожароопасных свойств паров является также нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ), г/м<sup>3</sup> [1]. НКПВ повышается с увеличением вязкости масла, измеренной при 40°С (рисунок). У синтетических жидкостей он выше, чем у минеральных масел [2].



Нижний концентрационный предел взрываемости масляных СОЖ различной вязкости

**Литература**

1. Machine tool Fire and Explosion. Prevention and protection. / DGUV – information, FB HM-032, Issue 11-2013.
2. Industry confirms standards for the protection against machine tool fires. / Engineering Subcontractor, April 2016, P.46-47.

## Меры защиты станков от возгорания

Бабак Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

При возникновении пожара в производственных цехах возможен существенный урон предприятию. Причиной большинства случаев возгорания во время обработки являются перегретые инструменты и образование искр. В последнее время возникла новая причина возгорания – использование эффективных, но пожароопасных масляных СОЖ, подаваемых в зону обработки под высоким давлением. В зоне обработки формируется смесь паров СОЖ и воздуха, которая может воспламениться [1]. Для предотвращения возгорания необходимо выполнение следующих условий:

- надежное охлаждение рабочей зоны подачей достаточного количества СОЖ в зону обработки;
- ограничение рабочего пространства для улучшения охлаждения;
- очистка поверхностей станка и детали от загрязнений;
- своевременное удаление стружки из рабочей зоны;
- добавление антигуманных присадок в СОЖ;
- использование автоматических устройств для вытяжки тумана из рабочей зоны.

При небольшом количестве оборудования рациональнее реализация противопожарной защиты на уровне станков. Для этого создан целый ряд систем пожарной сигнализации и пожаротушения, состоящих из устройства раннего обнаружения пожара и автоматической системы активного пожаротушения, которые монтируются на оборудовании [2]. Для обнаружения начальных очагов возгорания на ранней стадии большое значение, наряду с высокочувствительными датчиками дыма, имеет активная аспирационная дымовая система.

Чтобы противопожарная защита продолжала действовать при сбое энергоснабжения, она должна оснащаться встроенным аварийным источником питания от аккумуляторов. Наконец, должна существовать возможность интеграции автоматических систем пожаротушения с существующими системами сигнализации и инженерным оборудованием здания.

### Литература

1. Machine tool Fire and Explosion. Prevention and protection. / DGUV – information, FB NM-032, Issue 11-2013.
2. Industry confirms standards for the protection against machine tool fires. / Engineering Subcontractor, April 2016, P.46-47.



## Определение погрешности полигонального профилирования треугольника Рело методом прерывистого следа

Данилов А.А.

Белорусский национальный технический университет

Полигональное профилирование методом прерывистого следа реализуется при обработке детали долблением инструментом с прямолинейными режущими кромками. Для формирования стороны  $AB$  (рисунок) треугольника Рело, представляющей дугу окружности радиусом, равным его ширине  $b$ , заготовке и инструменту сообщают вращательные движения с равными угловыми скоростями. На формируемой поверхности образуется выступ  $M_1TM_2$  высотой  $7T=\Delta$  с вершиной в точке  $\Gamma(x_3, y_3)$ , высота которого

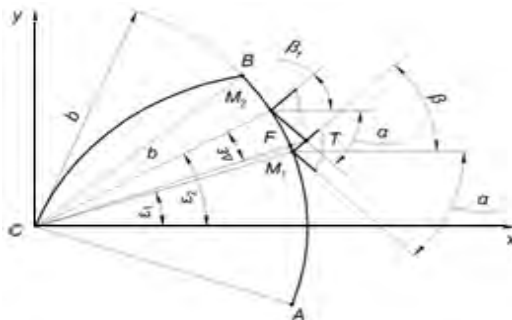


Рисунок – Расчетная схема для определения погрешности профилирования

зависит от переменного по величине вспомогательного угла в плане инструмента. В пределах круговой подачи  $S$  он изменяется на

$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ . Соответственно изменяется и высота образующихся выступов, поэтому она максимальна в середине треугольника Рело и минимальна в его вершинах. Искомое значение погрешности профилирования  $\Delta$  определяется по формуле  $\Delta = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} - b$  (1), где  $x_3, y_3$  определяются как координаты точки пересечения прямых  $M_1T$  и  $M_2T$ , уравнения которых:  $y - y_1 = (x - x_1)tg\beta$  (2);  $y - y_2 = (x - x_2)tg(\pi - \alpha)$  (3). При этом, исходя из геометрических свойств треугольника Рело, принимается:  $x_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}b$ ,  $y_2 = 0,5b$ . Максимальная высота гребней имеет место при симметричном расположении вершины режущего зуба относительно оси  $X$ . в этом случае  $\Delta = \frac{s}{2tg\beta}$ . При оснащении инструмента стандартными квадратными режущими пластинками ( $\beta = \alpha = 45^\circ$ )  $\Delta = 0,5s$  (4). Результаты исследования позволяют обоснованно назначать круговую подачу при проектировании станочной операции.

В пределах круговой подачи  $S$  он изменяется на

## Структура и пути интенсификации способов формообразующей обработки в машиностроении

Данилов В.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность способа формообразующей обработки определяются в первую очередь совершенством его структурных компонентов, выявленные взаимосвязи которых показаны на рисунке. К ним относятся:

- схема формообразования в пространстве и времени поверхности с заданными формой и размерами;
- совокупность физических, химических и иных процессов, связанных с удалением материала, его поверхностно-пластическим или объемным деформированием, определяющая метод обработки;
- формообразующая система, обеспечивающая необходимые для обработки потоки материалов, энергии и информации.

Структура способов обработки обуславливает необходимость комплексного подхода к их интенсификации путем оптимизации как процессов формообразования и резания, так и средств их реализации.

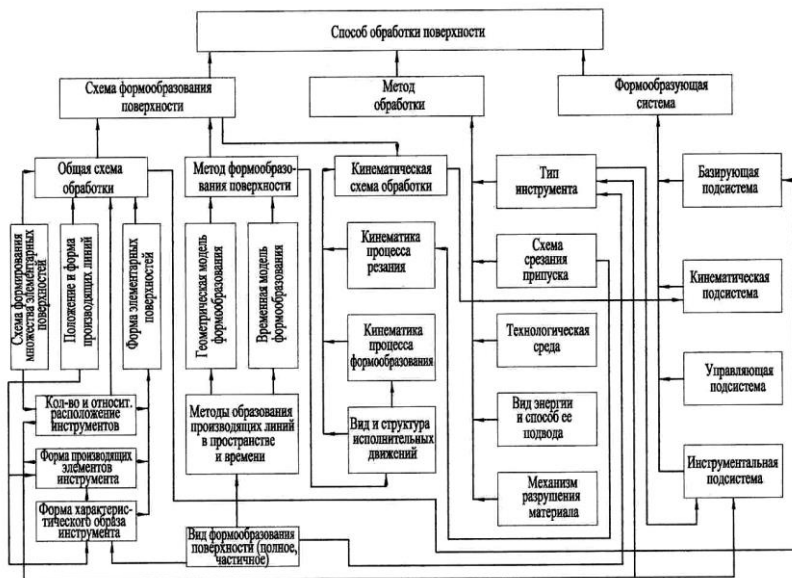


Рисунок – Структурная модель способа формообразующей обработки

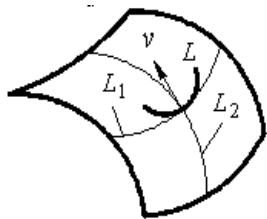
## Совершенствование общих схем обработки сложных поверхностей

Данилов В.А.

Белорусский национальный технический университет

Точность, производительность и вид формообразования (полное или частичное), а также сложность конструкции и универсальность станка зависят от реализуемой общей схемы обработки, компонентами которой являются форма ее производящих линий (образующей и направляющей) и характеристического образа инструмента, схема профилирования поверхности, траектория относительного перемещения инструмента и заготовки. Возможность формирования любой поверхности множеством общих схем обработки обуславливает необходимость их сравнительного анализа по критериям эффективности при заданных ограничениях.

Количественно эффективность общей схемы обработки характеризуется точностью формообразования и непрерывностью процесса обработки. Минимизация погрешности формообразования достигается путем оптимизации схемы профилирования при выполнении условия  $K_1 + K_2 \rightarrow 0$ , где  $K_1$  ( $K_2$ ) – кривизна образующей  $L_1$  ( $L_2$ ) (рисунк) номинальной (элементарной) поверхности, что обеспечивается выбором схемы профилирования и характеристического образа инструмента. Для повышения производительности направление строчек следует задавать вдоль линий, имеющих большую с учетом знака кривизну. Это правило относится к выпуклым, вогнутым и выпукло-вогнутым поверхностям.



Общая схема обработки выпукло-вогнутой поверхности

При обработке поверхности строчками ее производительность зависит от непрерывности процесса, которая характеризуется коэффициентом цикловой непрерывности  $K_{ц}$ , равным отношению машинного и общего времени обработки. Поэтому производительность формообразования составляет  $Q = K_{ц} l v$ , где  $l$  – межстрочная подача,  $v$  – скорость движения подачи. Для обеспечения заданной точности  $\Delta$  значение  $l$  должно удовлетворять условию  $l \leq 2\sqrt{2\Delta/[K_1 + K_2]}$ . Тогда  $Q = 2K_{ц} v \sqrt{2\Delta/[K_1 + K_2]}$ .

Возможность реализации множества схем обработки должна быть обеспечена при проектировании формообразующей системы станка.



## Оценка способов повышения жесткости крупногабаритного токарного станка после модернизации

Ермалович В.И.

Белорусский национальный технический университет

В процессе модернизации группы сверхтяжелых токарных станков типа 1А670 (КЗТС) необходимо поднять линию центров на 300 мм. Это позволит увеличить диаметр обрабатываемых валов до  $\varnothing 2300$  мм. В ходе МКЭ-анализа рассматривались 7 вариантов реализации шпиндельного узла. Определялась радиальная жесткость  $j$  и частоты первых трех резонансов  $f_1, f_2, f_3$ .

Анализ результатов (таблица) показал, что после возвышения станок сохраняет статическую жёсткость, достаточную для медленного точения для всех вариантов реализации шпиндельного узла. При добавлении к базовому варианту 1 (подшипники качения) радиальных (вариант 2), аксиальных (вариант 3) гидростатические подшипники планшайбы и их комбинации (вариант 4) рост жесткости  $J_{рот,рад}^{стат}$  составил  $\geq 1,42$  раза, а  $J_{рот,рад}^{дин}$  увеличится в 1,88–2,06 раз. Проведены также виртуальные эксперименты с заменой в несущей системе чугуна на сталь. В варианте 4 стальной сделана передняя бабка и получен вариант 5. Модификация варианта стальной станиной дает вариант 6. Вариант 7 является комбинацией 1 и 6 – все корпусные детали сделаны из стали. Установлена допустимость изготовления корпусных деталей из стали. Виртуальные испытания показали, что после возвышения линии центров на 300 мм станок сохранит способность удовлетворительно работать даже в районе первого резонанса (раскачка вала – частоты  $f_1 = 22,4 \div 27,3$  Гц). При этом жесткость  $J_{рот,рад}^{дин}$  падает в 18–28 раз. Однако, она остается достаточной ( $> 37$  Н/мкм), чтобы процесс резания не сорвался в автоколебания и в потерю устойчивости.

Статические и динамические показатели жесткости станка в зависимости от реализации шпиндельного узла

Жёсткость, Н/мкм	Вариант реализации						
	1	2	3	4	5	6	7
$J_{рот,рад}^{стат}$	767	962	878	1094	1175	1238	832
$f_1$ , Гц	25,0	23,8	26,3	27,3	27,8	23,2	22,4
$f_2$ , Гц	40,5	40,1	41,6	42,8	43,7	38,8	40,1
$f_3$ , Гц	65,0	65,0	65,1	65,1	68,4	68,4	65,0

**Технологические особенности проектирования деталей, изготавливаемых  
литьем порошковых смесей**

Ивашин Э.Я., Григорьев Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Литьё порошковых смесей (PIM-технология, powder injection molding), используется для производства металлических и керамических изделий сложного профиля с высокой точностью. В СНГ на данный момент эта технология только начинает развиваться. В качестве исходного сырья используется смесь мелкодисперсного порошка и полимерного связующего. На этапе литья порошковая смесь под давлением заполняет пресс-форму, где происходит ее затвердевание. После извлечения из литформы полуфабрикат помещается в печь для удаления связующего компонента, обжига и формирования готовой детали.

Этот способ производства металлических или керамических деталей сложной конфигурации считается сегодня самым низкокзатратным. Детали, изготавливаемые по технологии PIM, как правило, небольшие. 80% выпускаемых в мире деталей не превышает 40 грамм, цены на изделия определяются в основном трудозатратами, а не ценой материала.

Технологические преимущества литья под давлением:

- 1) Оптимизация конструкции изделия. PIM-процесс снимает практически все ограничения по сложности конструкции детали.
- 2) Увеличение плотности и прочности детали. При прочных равных условиях процесс литья порошков под давлением позволяет получать большую плотность и прочность детали в сравнении с деталями, полученными методом порошковой металлургии.
- 3) В отличие от деталей, полученных методом порошковой металлургии, процесс литья под давлением обеспечивает возможность придания практически любой фактуры поверхности формируемым деталям.
- 4) На детали, полученные данным методом, могут наноситься практически любые виды покрытий без предварительной обработки.
- 5) Высокий коэффициент использования материала – 0,97-0,99 в сравнении с обработкой резанием – 0,4-0,6.
- 6) Минимальная толщина стенки 0,5 мм.
- 7) Данный процесс является высокопроизводительным, с возможностью полной автоматизации производства.

К недостаткам можно отнести сложный и длительный процесс удаления связующего (полиацеталь), необходимость высокотемпературного обжига, а также высокая суммарная усадка (до 40%).

Карпович М.А.

Белорусский национальный технический университет

Главный критерий качества работы станка, помимо точности, это высокая производительность. Один из вариантов повышения производительности – увеличить подачу и уменьшить глубину, реализовав так называемое силовое резание. Было составлена программа оптимизации, где минимизировалось штучное время с учетом ограничений по стойкости инструмента и по мощности станка. Выявлено, что наибольшая производительность при снятии припуска 8 мм достигается за три прохода при мощности главного привода станка 14 кВт.

Результаты 3D моделирования (рис.1, а) показывает, что остается грубая поверхность, а объем снимаемого материала меньше рассчитанного. В связи с этим были заменены стандартные формулы на более уточненные. В частности, площадь среза определялась по следующей зависимости, в предположении нулевого радиуса округления:

$$f = t * S - \frac{S^2 * \tan(\varphi) * \tan(\varphi_1)}{2 * (\tan(\varphi) + \tan(\varphi_1))}$$

где  $t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача, мм;  $\varphi$  – главный угол в плане;  $\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане.

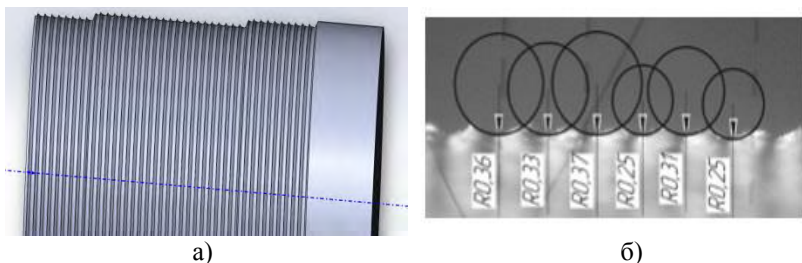


Рис. 1 – а) 3D-моделирование обработанной поверхности; б) экспериментальные исследования

Допустимость использования этой зависимости определяется экспериментальными исследованиями (рис. 1, б) обработанной детали при черновой обработке. Выявлено что радиус скругления обработанной детали стремится к 0, при больших подачах и глубинах резания. Объясняется это также, как и при чистовом точении, пластичным течением в зоне резания.

Колесников Л.А.

Белорусский национальный технический университет

Долговечность направляющих качения определяется нагрузкой. Помимо рабочей нагрузки, на направляющие действуют дополнительные силы, вызванные погрешностями при монтаже рельсов/кареток, например, непараллельностью рельсов.

Оценить значения этих сил  $F$  возможно из соотношения:  $F=j \times \Delta$ , где  $j$  – жесткость каретки в направлении смещения,  $\Delta$  – смещение сопряженных деталей друг относительно друга [1]. Даже при нормативных значениях непараллельности снижение расчетного ресурса направляющих может достигать 15...30%, в зависимости от характера взаимного расположения рельсов.

При этом возможна ситуация, когда при высокой точности перемещения стола (рисунок 1, а) непараллельность рельсов (рисунок 1, б) в несколько раз выше рекомендуемых значений. Это может привести к тому, что при внешне прекрасных характеристиках точности станка ресурс направляющих снижается в несколько раз. Определить такую особенность конкретного станка весьма трудно.

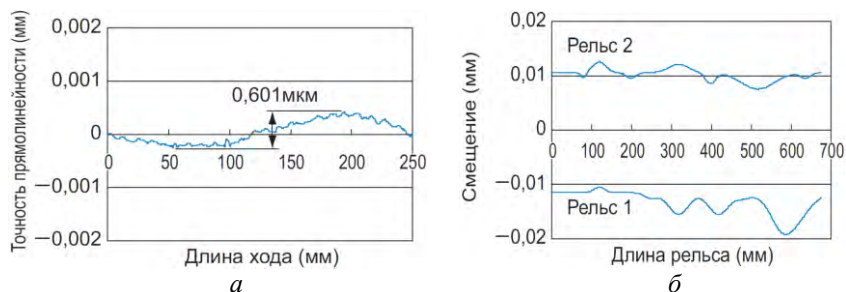


Рис. 1 – Пример слабой связи непараллельности рельсов направляющих и точности перемещения стола [2]

### Литература

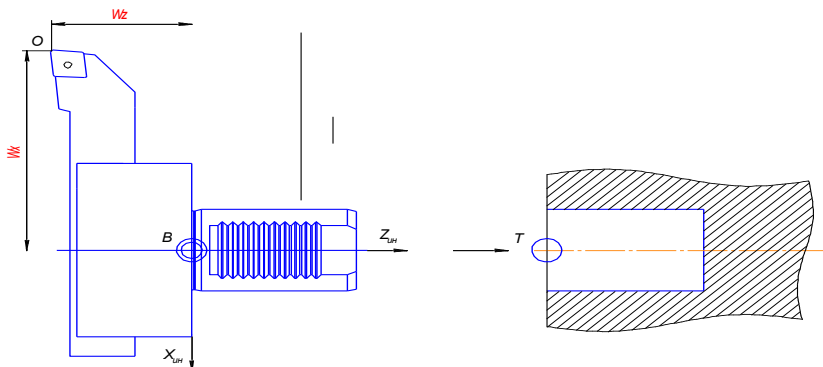
1. Колесников, Л.А. Оценка жесткости направляющих качения // Тезисы докладов 33-ой междуна. науч.-техн. конф. «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки» (Минск, 5 апреля 2017 г.) / редкол. В.К.Шелег [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2017. – С. 131–133.
2. General Description. THK General Catalog 510E.

Кучинская А.А., Маркова Е.А., Василенко А.Г.  
Белорусский национальный технический университет

При подготовке управляющей программы необходимо описать инструмент совместно с наладкой. Для этого, в частности, следует задать координаты вершины инструмента  $O$  в системе координат станка. Для каждого установка заготовки приводят численные значения координат вершин инструментов по осям  $Z$  и  $X$  и наладочные размеры. Данные о применяемом режущем инструменте записываются в строгой последовательности вступления инструмента в обработку.

Для определения положения точки  $O$  назначают систему координат инструмента. Начало системы координат инструмента располагают на цилиндрической или конической базах инструментальной оснастки и называют фиксированной точкой  $B$  установки инструмента (рисунок). Оси  $BX_{ин}$ ,  $BZ_{ин}$  системы координат инструмента параллельны соответствующим осям системы координат станка. Создают управляющую программу с учётом выбранных значений  $X$ ,  $Z$ .

При установке инструментального блока в револьверную головку точка  $B$  совмещается с фиксированной точкой  $N$ . Полученную точку  $E$  называют исходной точкой инструмента. Наладочные размеры инструмента рассчитываются по формулам:  $W_x = L_{p.x} + L_x$ ,  $W_z = L_{p.z} + L_z$ . Величины  $L_{p.x}$  и  $L_{p.z}$  определяются по справочным таблицам ГОСТов или каталогам вспомогательных инструментов.



Задание настроечной точки и расчёт вылета инструмента

**Экономика  
и организация  
машиностроительного  
производства**

**Методологические вопросы признания продукции инновационной**

Адаменкова С.И., Ефимчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Перспективное развитие предприятия напрямую связано с разработкой и внедрением инновационной продукции.

Определение инновационной продукции дано в ряде нормативных документов. Согласно Постановлению Совета Министров Республики Беларусь №995 инновационной признается продукция при одновременном соблюдении 2-х критериев: более высокие технико-экономические показатели по сравнению с другими аналогами; использование при ее создании изобретений, полезных моделей, промышленных образцов и т.д., на которые получены патенты (свидетельства).

Постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь №61 к инновационной продукции относит:

новую продукцию, не имеющую аналогов на территории Республики Беларусь или за ее пределами;

продукцию, связанную с нанотехнологиями;

продукцию, которая в течение последних трех лет подвергалась в значительной степени технологическим изменениям.

То есть не акцентируется внимание на использовании в ходе создания продукции способных к правовой охране результатов интеллектуальной деятельности, но устанавливаются трехлетние сроки признания продукции инновационной с момента ее первой отгрузки.

Для получения налоговой льготы дополнительным условием ст. 140 Налогового Кодекса Республики Беларусь (особенная часть) предусмотрено, что претендующие на льготу инновационные товары должны быть созданы:

с использованием не участвовавших в производстве товара другого наименования и способных к правовой охране результатов интеллектуальной деятельности;

с использованием патентов (свидетельств), с даты выдачи которых прошло не более трех лет (за исключением патента на изобретение).

То есть дополнительные требования Налогового кодекса Республики Беларусь при установлении налоговой льготы значительно сужают число наименований инновационной продукции, не смотря на включение ее в перечень Совета Министров Республики Беларусь (Постановление № 995).

Представляется целесообразным создание единого определения термина «инновационная продукция» с учетом требований всех вышеназванных нормативных документов.

**Проблемы внешнеэкономической деятельности  
машиностроительного предприятия Республики Беларусь**

Адаменкова С.И., Богданович Д.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Промышленность и, прежде всего, продукция машиностроения, составляя основу внешнеэкономического потенциала Беларуси, в значительной степени оказывает влияние на темпы и направления научно-технического прогресса страны.

Поэтому результаты внешнеэкономической деятельности (ВЭД) требуют непосредственной оценки.

Цель анализа ВЭД заключается в оценке, а также выявлении и мобилизации резервов дальнейшего повышения ее качества, эффективности и аналитическом сопровождении этапов технологии принятия управленческих решений.

Рассматривая методические подходы отечественных исследователей к измерению и оценке эффективности внешнеэкономической деятельности, возникла необходимость определенной корректировки методов измерения и оценки результатов внешнеэкономической деятельности, так как они не полностью учитывают ряд особенностей ВЭД, а также разрознены и не составляют целостной системы.

Предлагаемые методики затрагивают различные стороны работы внешнеэкономической деятельности, но в таком случае принимать решения достаточно сложно, потому что показатели являются разнонаправленными и не систематизированными по целям, стоящим по каждому направлению в системе управления ВЭД.

Оценка эффективности должна отражать результат таким образом, чтобы контролирующие органы видели резервы улучшения деятельности по внешнеэкономическим операциям, а управленческие решения могли быть обоснованными и подтверждены конкретными показателями.

Для этого появляется необходимость использования всесторонней аналитической оценки внешнеторговых процессов и связей и создания определенной системы показателей, разделенной на блоки, которые, в свою очередь, делятся на ряд показателей, которые должны быть не разрознены, а носить целевую направленность.

Показатели по каждому блоку следует выбирать исходя из целей, стоящих перед органами управления предприятия, которые в свою очередь будут планировать, учитывать, а также контролировать их выполнение.



Барсуков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Для любого государства мира важным моментом осознания своей независимости и индивидуальности в мировой экономике является понимание своей специализации, т.е. понимание того, что данная страна может предложить миру, или точнее, что она может дать в обмен на то, что хочет получить взамен извне. Всё необходимое для функционирования и роста государства, а также его становления как достаточно развитого для комфортной жизни граждан, как правило, невозможно получить лишь на собственной территории, в т.ч. ввиду объективных причин, например упущенного времени, в течение которого другие страны нашли свои специализации и достигли в них огромного успеха, и догнать их не представляется возможным, либо отсутствия необходимых природных ресурсов и т. д. Для этого налаживается торговля между странами. При этом актуальным стал вопрос о том, как много собственного вклада данной страны в произведённых ею товарах и оказанных услугах, как для целей внутреннего потребления, так и на экспорт.

Добавленная стоимость – это показатель отражающий приращение стоимости предмета труда по мере прохождения им всех этапов воздействия на него в рамках деятельности данного предприятия от момента входа до выхода готовой продукции со склада предприятия, а в некоторых случаях до его доставки до конечного потребителя.

Анализ результатов деятельности предприятий машиностроения показал, что товарная продукция в действующих ценах, находящаяся в прямой связи с добавленной стоимостью, в отчетном периоде выросла на 49,3%, но, тем не менее, добавленная стоимость выросла лишь на 13,77%. Данный недостаточный рост добавленной стоимости связан с действием негативных факторов, а именно не пропорционально высоким ростом материальных и прочих затрат, находящихся в обратной связи с добавленной стоимостью. Доля материальных затрат в товарной продукции составила 62,97%, а доля изменения материальных затрат в изменении товарной продукции – 85,62%. Приведённые выше данные показывают что на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь доля материальных затрат составляет в среднем около 70%.

Таким образом, необходимо повышать эффективность деятельности предприятий машиностроения и в качестве критерия эффективности использовать показатель добавленной стоимости.

## **Влияние маркетинговых решений на финансовую устойчивость предприятия**

Глубокий С.В., Хомич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Промышленные предприятия на сегодняшний день динамично развивают свои экономические отношения и расширяют масштабы производства, все чаще прибегая к концепции управления, обеспечивающей ориентацию производства на требования риска. Маркетинг в данном подходе наряду с другими науками играет практически первостепенную роль в обеспечении финансовой устойчивости предприятия.

Для стабилизации своей рыночной деятельности, и, как следствие, для влияния на финансовую устойчивость, организации прибегают к ряду определенных маркетинговых решений, базирующихся на основных концепциях управления маркетингом. Так, добиться ускорения оборачиваемости оборотных средств промышленные предприятия могут, прибегнув к концепции маркетинга взаимоотношений – КМВ (например, обеспечение договоренностей с поставщиками об уменьшении сроков поставки), что так же позволит рационально использовать и в дальнейшем реструктуризировать кредиторскую задолженность.

Изменения объемов и структуры продукции, а также внедрение новых прогрессивных технологий (концепции расширения производства и совершенствования товара – КРП и КСТ) позволят повысить технический уровень производства, что повлечет за собой повышение качества продукции, а также уменьшение условно-постоянных расходов (кроме амортизации). Еще одна распространенная концепция – агрессивного сбыта – КАС позволяет увеличивать объем продаж, который является одним из источников резервов по увеличению суммы прибыли промышленных предприятий. Во взаимосвязи с данной концепцией так же стимулировать сбыт позволит применение концепции активного маркетинга – КАМ, например, тщательное предварительное изучение финансовых возможностей клиентов и тем самым совершенствование системы платежей.

Таким образом, стоит отметить, что маркетингу отводится важная роль в повышении результативности деятельности на промышленном предприятии, что подтверждается все большим увеличением организациями затрат на проведение маркетинговых исследований и мероприятий. Однако при этом необходимо учитывать и конечные результаты хозяйственной деятельности фирмы.

**Методика оценки влияния ликвидности краткосрочных активов  
на уровень экономической несостоятельности предприятия**

Зеленковская Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Коэффициент текущей ликвидности характеризует общую обеспеченность предприятия ликвидными средствами и в Республике Беларусь определяется, как отношение краткосрочных активов и краткосрочных обязательств предприятия.

Однако данный коэффициент не всегда реально отражает уровень платежеспособности предприятия. Утвержденная Постановлением Министерства Финансов и Министерства экономики Республики Беларусь методика предполагает, что краткосрочные активы на балансе должны быть все ликвидные, а в сложившихся условиях о высокой ликвидности оборотного капитала говорить нельзя.

Коэффициент текущей ликвидности должен быть зависим от продажной стоимости краткосрочных активов и вероятности возврата краткосрочной дебиторской задолженности.

Поэтому, сумма краткосрочных активов предприятия должна быть скорректирована на уровень ликвидности каждой группы краткосрочных активов.

Коэффициент ликвидности предлагается автором определять по каждой группе краткосрочных активов в зависимости от наиболее существенных факторов, оказывающих решающее влияние на полноту и скорость их реализации по рыночной стоимости. Такими факторами для:

- материалов, готовой продукции (товаров), прочих запасов, прочих краткосрочных активов являются количество дней, которые потребуются для реализации краткосрочных активов и цена, по которой предприятие сможет ликвидировать числящиеся на балансе краткосрочные активы;
- расходов будущих периодов и краткосрочной дебиторской задолженности являются вероятность безнадёжности, а так же срок ликвидации.

Предлагаемую автором оценку ликвидности краткосрочных активов:

- в обязательном порядке должны проводить экономически несостоятельные предприятия, у которых неплатежеспособность приобретает или имеет устойчивый характер;
- в рекомендательном порядке по решению руководителя предприятия (антикризисного управляющего) – неплатежеспособные предприятия.

**Разработка санационного механизма  
промышленного предприятия Республики Беларусь**

Зеленковская Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Не существует единого для всех предприятий подхода к управлению. Каждое предприятие имеет свои особенности, и, следовательно, процесс выработки управленческих решений для каждого из них также индивидуален.

Он зависит от позиции организации на рынке, ее потенциала, поведения конкурентов, характеристик производимого товара.

Предлагается разрабатывать управленческие решения на основе оценки финансово-экономического потенциала предприятия и выявления параметров, оказывающих на нее отрицательное влияние, а также с учетом определения наиболее значимых показателей.

Процесс сопоставления фактического уровня показателей и их значимости позволит определить факторы, которые надо учесть в первую очередь при принятии управленческих решений.

По результатам оценки экономического потенциала определяем политику воспроизводства или финансирования.

При условии наличия развитого имущественного комплекса, отвечающего запросам рынка, но при недостаточности наличности для финансирования хозяйственного оборота, в качестве источника последнего можно предложить воспользоваться кредитами и займами финансово-кредитных структур, либо инвестициями и капиталом третьих лиц.

В случае, когда состояние имущественного комплекса не соответствует условиям развития бизнеса и не отвечает запросам рынка, но предприятие обладает необходимыми финансовыми ресурсами можно использовать способ самофинансирования и привлечения инвестиций, капитала от третьих лиц и т. д.

Если субъект хозяйствования испытывает трудности, как с капиталом, так и с производственным потенциалом, можно предложить использование в определенных границах товарного кредита, уступки требованиям третьим лицам, привлечения инвестиций под обещания будущих прибылей, дополнительной эмиссии акций и т. д.

Результатом оценки и анализа экономической состоятельности и санационной восприимчивости будет являться план санации.

Разработка плана должна осуществляться в зависимости от стратегии санации.

**Эффективность упрочнения режущего инструмента**

Иванович А.И.

Белорусский национальный технический университет

Различные методы упрочнения режущего инструмента приводят к повышению его стойкости. 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

$$\mathcal{E}_m = \frac{N \cdot t_{маш}}{\eta \cdot T_{изн_б} \cdot 60} \cdot Ц_б - \frac{N \cdot t_{маш}}{\eta \cdot T_{изн_н} \cdot 60} \cdot Ц_н,$$

где  $Ц_б$ ,  $Ц_н$  – соответственно цены инструмента до и после упрочнения;

$T_{изн_б}$  и  $T_{изн_н}$  – соответственно стойкость инструмента до полного износа до и после упрочнения, час;

$t_{маш}$  – машинное время обработки одной детали, мин (принимается по заводским данным);

$\eta$  – коэффициент случайной убыли для данного инструмента, (принимается обычно равным 0,85-0,90);

$N$  – количество деталей для обработки, шт.

Величина  $T_{изн}$  определяется по формуле:

$$T_{изн} = (n + 1) t_{ст},$$

где  $n$  – число допустимых заточек данного инструмента;  $t_{ст}$  – стойкость инструмента между переточками, час.

Величина  $\mathcal{E}_{об}$  определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{об} = U_{об\ баз} \cdot Ц_б - U_{обн} \cdot Ц_н,$$

где  $U_{об\ баз}$ ,  $U_{обн}$  – величина оборотного фонда соответственно до и после упрочнения, шт.

**Совершенствование методики оценки инвестиционных рисков  
в промышленных холдингах**

Ивашутин А.Л., Сенник Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Кризисные явления в мировой экономике наглядно продемонстрировали наличие проблем у хозяйствующих субъектов в области своевременного выявления и преодоления рисков. Учитывая, что промышленные холдинги, как и другие крупные компании, лишились части активов в условиях кризиса, управление рисками для них является первостепенной задачей.

В настоящее время существует множество методов оценки инвестиционных рисков. Но ни один из них в чистом виде нельзя применить для оценки рисков в промышленных холдингах, так как они не учитывают особенности деятельности таких структур. В работе сделана попытка выявить эти особенности и применить их с позиции оценки инвестиционных рисков для нескольких типов холдингов.

Для горизонтальных холдингов в процессе оценки инвестиционных рисков не представляется необходимым учет динамики развития всех участников холдинга вследствие слабой зависимости друг от друга. Однако целесообразно учитывать динамику показателей отрасли, в которой работает промышленный холдинг, так как определяющие ее факторы могут повлиять на работу всех предприятий холдинга.

В вертикальном холдинге в результате более тесной интеграции оценка инвестиционных рисков должна включать поиск «узких мест» холдинга и анализ их динамики.

Также имеет значение, насколько жесткой является структура холдинга, а именно имеют ли участники холдинга доступ к другим каналам сбыта и снабжения, помимо внутренних.

Так как смешанный холдинг объединяет черты горизонтального и вертикального холдингов, то и оценка рисков здесь должна включать в себя этапы определения рисков как в этих типах рыночных структур.

Диверсифицированные же холдинги с точки зрения инвестиционных рисков являются наименее рискованными.

При оценке рисков необходимо определить, как работает холдинг в целом. Для этого проводится анализ темпов роста всех отраслей, в которых работает холдинг.

Это позволяет рассчитать интегральный коэффициент темпов роста для формирования выводов с точки зрения оценки инвестиционных рисков.

**Уменьшение отрицательных последствий мультипликационной ловушки для иностранных инвестиций**

Ивашутин А.Л., Хрусталёв С.Б.

Белорусский национальный технический университет

Довольно часто иностранные инвестиции в Беларуси попадают в мультипликационную ловушку, которая проявляется в незначительной эффективности их использования для национальной экономики в целом.

В предыдущих исследованиях рассмотрены механизмы работы такой ловушки и возможности количественной оценки мультипликационного эффекта применительно к иностранным инвестициям.

Основные отрицательные последствия мультипликационной ловушки проявляются в том, что иностранные инвесторы стремятся в первую очередь занять сегменты национальной экономики с незначительной долей долгосрочных активов и минимальной технологической зависимостью от национального бизнеса. Направлениями снижения отрицательных эффектов такой ловушки могут быть следующие.

Необходимо активизировать организационную работу со стороны макроэкономистов и макроменеджеров по структуризации инвестиционных предложений для иностранных инвесторов. Это важно по причине относительно большой доли государственной собственности в национальной экономике. Результатом такой работы может быть группировка государственных предприятий по уровню их потенциального мультипликационного эффекта на смежные сферы бизнеса.

На основе такой группировки могут быть разработаны более качественные рекомендации, например, по налоговым льготам для иностранных инвесторов. Должен выдерживаться принцип: чем выше потенциальный мультипликационный эффект от иностранных инвестиций в определенные проекты, тем большие налоговые льготы по срокам и объемам можно предлагать. Это в определенной степени повысит эффективность для иностранцев от их вложений, компенсируя часть их рисков. Такие предложения, конечно, необходимо рассматривать с точки зрения текущих возможностей государственного бюджета и стратегических последствий перевода иностранных инвестиций в более выгодные для национальной экономики сферы.

Аналогичные решения могут быть приняты и применительно к таможенным льготам, которые должны быть скорректированы в сторону долгосрочных иностранных инвестиций с высоким мультипликационным эффектом для национальной экономики.

## Целевой подход к организации ротации на предприятии

Карпенко Е.М., Фурсевич И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Длительное время работы в одной должности может негативно сказаться на трудовой отдаче работников, связанной со снижением трудовой мотивации, желанием максимально реализоваться в профессиональной деятельности. Достижение максимума роста в занимаемой должности провоцирует снижение результатов деятельности, так как работа без интереса не может быть максимально результативной. Наблюдение за результатами работы и оценка степени удовлетворенности работников выполняемой работой, позволяет обосновывать действия по передвижению кадров.

Одним из возможных решений может быть введение системы ротации кадров, то есть перевод работников внутри подразделения или предприятия на новые рабочие места. В зависимости от того, кто является инициатором ротации, отличаются и цели (риунок).

Цели ротации	
По инициативе предприятия	По инициативе работника
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обеспечение взаимозаменяемости работников;</li> <li>2. Минимизация потерь при увольнении работников, временной нетрудоспособности;</li> <li>3. Улучшение социально-психологического климата в коллективе, разрешение конфликтных ситуаций;</li> <li>4. Повышение сплоченности, усиление коммуникации между работниками, а также установление деловых связей;</li> <li>5. Привязка работников благодаря ощущению продвижения по карьерной лестнице;</li> <li>6. Планирование кадрового резерва, позволяющего предвидеть развитие карьерного роста на длительный промежуток времени, что делает их более лояльными.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рост карьеры;</li> <li>2. Привлекательность труда;</li> <li>3. Приобретение знаний, опыта работы в другом подразделении предприятия;</li> <li>4. Смена монотонной работы на более разнообразную;</li> <li>5. Развитие новых взаимоотношений;</li> <li>6. Повышение собственной конкурентоспособности в связи с увеличением знаний и опыта.</li> </ol>

Цели ротации кадров на предприятии

Вместе с тем ротация - это затратный процесс, связанный с увеличением внутриорганизационных затрат. В то время должен окупаться доход предприятия путем снижения потерь от текучести кадров, повышения производительности труда, улучшения социально-психологического климата в коллективах, повышения самооценки работников. Поэтому предприятию необходимо проанализировать процесс перестановки кадров и просчитать его эффективность. Эффективный результат внедрения системы ротации кадров может быть тогда, когда устремлены интересы и предприятия, и работника.



## Объединяющие факторы производственных агломератов

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

При формировании агломерата может действовать как один объединяющий фактор, так и несколько. Они могут сочетаться и дополнять друг друга, но преобладающий фактор определяет основные особенности агломерата.



## Объединяющие факторы производственных агломератов

**Поле 1.** Фактор лояльности. Агломерация возможна только на основе финансовой заинтересованности, которая, чаще всего, обеспечивается приобретением акций предприятий, входящих в объединение.

**Поле 2.** Рыночный фактор. Вырабатывается общая маркетинговая стратегия объединения, которая затем реализуется совместно.

**Поле 3.** Фактор синергии. Кооперация в сфере логистики, производства, разработок.

**Поле 4.** Фактор лояльности и Рыночный фактор. Создание общих инфраструктур продвижения товаров и услуг

**Поле 5.** Фактор лояльности и Фактор синергии. Инвестиции в новые разработки и технологии. Создание общих специализированных структур, обслуживающих все объединение.

**Поле 6.** Фактор синергии и Рыночный фактор. Общие логистическая и маркетинговая инфраструктура, способствующая продвижению товар и услуг предприятий агломерата.

**Поле 7.** Область сочетания всех трех факторов, порождающая наиболее устойчивые агломераты, тип которых можно определить по преобладающему фактору.

Приведенный анализ преобладающих объединяющих факторов позволит проектировать устойчивые и эффективные агломераты.

**Условия выбора предприятий для включения их в состав кластера**

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Предлагается выбирать предприятия для включения их в проектируемый кластер по значению специальных *индикаторов*. Каждый индикатор соответствует определенному объединяющему фактору. Если индикатор, являющийся логической переменной, принимает значение *Истина*, то соответствующий объединяющий фактор имеет тенденцию к усилению.

Условием для включения предприятия в кластер, второго или третьего уклада, является усиление фактора синергии и рыночного фактора. Наличие фактора лояльности является благоприятным условием, но не обязательным. Соответственно, при проектировании кластера отбираются предприятия, у которых значения индикаторов рыночного фактора и фактора синергии имеют значения *Истина*.

*Рыночный объединяющий фактор* усиливается, когда рынок сбыта увеличивается и когда предприятию сложнее удовлетворять потребности расширяющегося рынка, только за счет собственных ресурсов. В этой ситуации предприятие заинтересовано в консолидации усилий и ресурсов с другими предприятиями.

*Фактор синергии* оценивается по уровню менеджмента компании. В различных производственных ситуациях усилия менеджмента могут быть направлены на разные цели.

Если индикаторы фактора синергии и рыночного фактора для исследуемых компаний принимают значение *Истина*, то они включаются в состав проектируемого кластера. Все индикаторы объединяющих факторов сведены в таблицу.

Индикаторы объединяющих факторов

<i>Фактор</i>	<i>Условия</i>	<i>Индикатор</i>
Фактор синергии	ФС1 – снижение операционных издержек. ФС2 - снижение себестоимости продукции ФС3 – рост прибыли	Ифс= (ФС1 ИЛИ ФС2) И ФС3
Рыночный фактор	ФР1 – рост рынка ФР2 – увеличение сбыта предприятия	Ифр= ФР1 И ФР2
Фактор лояльности	ФЛ1 - владение акциями предприятия ФЛ2 – высокая доля заказов	Ифл= Фл1 ИЛИ Фл2

## Классификация продукции машиностроительных предприятий

Короткевич Л.М., Барсуков А.А.

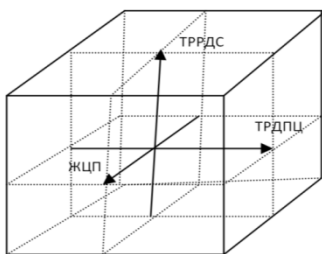
Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь машиностроительные предприятия оказались в сложном положении. Существуют следующие проблемы: сокращение спроса на продукцию и как следствие затоваренность складов; рост себестоимости; не полная загрузка мощностей; большая доля импортных комплектующих и полуфабрикатов; низкая добавленная стоимость и др.

С целью повышения эффективности производственной деятельности предлагается классификация продукции машиностроения по трем критериям: жизненный цикл продукции (ЖЦП), темпы роста добавленной стоимости (ТРДС) и темпы роста длительности производственного цикла (ТРДПЦ).

Этапы классификации продукции:

1. Определение темпов роста «реальной добавленной стоимости» отдельных видов продукции предприятия.
2. Расчет темпов роста длительности производственного цикла изготовления продукции.
3. Классификация продукции машиностроительного предприятия по критериям добавленная стоимость / длительность производственного цикла.
4. Построение трёхмерной матрицы классификации продукции



Трёхмерная матрица классификации продукции машиностроительных предприятий

Данная классификация продукции машиностроения позволит разработать рекомендации по производству и реализации продукции, и тем самым повысить эффективность деятельности предприятий машиностроения.

**Экономическая добавленная стоимость (EVA)  
как индикатор инновационного роста**

Костюкевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Анализ подходов к управлению инновационным ростом показал, что в современных условиях хозяйствования целевой ориентир на увеличение стоимости предприятия является более универсальным, нежели максимизация прибыли, поскольку прирост вложенного капитала может происходить без существенных изменений в размере получаемой предприятием прибыли, проявляясь в росте стоимости нематериальных активов или ценности предприятия. Оценка эффективности стратегии инновационного роста предприятия на основе его стоимости показывает текущие и перспективные цели развития предприятия с учетом повышения эффективности его инновационной деятельности. Наиболее эффективно изменение стоимости при внедрении и реализации инноваций отражает экономическая добавленная стоимость (EVA). Используя показатель EVA, представим оптимизационную модель для оценки стоимости предприятия, реализующего стратегию инновационного роста:

$$EVA = (P - T) - IC * WACC,$$

где P - прибыль предприятия от операционной деятельности предприятия, руб.; T - налоги и другие обязательные платежи, руб.; IC - затраты на инновации, руб.; WACC - средневзвешенная стоимость капитала, %.

Экономическая добавленная стоимость возникает в компании в том случае, если за данный период времени удалось заработать доходность инвестированного капитала выше, чем норма доходности инвестора. Положительное значение EVA означает прирост рыночной стоимости по сравнению с балансовой стоимостью чистых активов и эффективную реализацию стратегии инновационного роста. При отрицательном или нулевом значении EVA реализуемая стратегия неэффективна. Оценку экономической эффективности стратегии инновационного роста представим в виде четырех этапов. 1 этап. Оценка стоимости предприятия до реализации стратегии инновационного роста, т.е. стоимости имеющихся в распоряжении предприятия активов. 2 этап. Определение возможностей и расчет объема вновь привлекаемых предприятием инновационных и финансовых ресурсов. 3 этап. Трансформация привлекаемых ресурсов в активы предприятия. 4 этап. Оценка стоимости предприятия после реализации стратегии инновационного роста на основе показателя экономической добавленной стоимости.

## Применение маркетинговых коммуникаций в ОАО «Амкодор»

Куневич О.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время ОАО «Амкодор» является крупнейшим производителем дорожно-строительной техники в Республике Беларусь и в странах СНГ.

Система маркетинговых коммуникаций, используемых на ОАО «Амкодор» представляет собой систематическое использование таких основных видов стратегий: традиционные средства; реклама в СМИ; наружная реклама; презентации; интерактивные средства; интернет-сайт предприятия; календари, плакаты, открытки, каталоги.

Наиболее используемым рекламным носителем у ОАО «Амкодор» являются каталоги и буклеты, затем – выставки, а транспорт, наружная реклама и пресса используется в основном для поддержания имиджа предприятия. ОАО «Амкодор» взаимодействует с рекламными агентствами и средствами массовой информации по тендерной системе

Таким образом, ОАО «Амкодор» не является постоянным клиентом одного рекламного агентства. На сегодняшний день предприятие сотрудничает со многими агентствами – «ООО Артзона», ЗАО «Аидапионер», УП «Дело вкуса», УП «Белтехпродпром», ООО «Пушнов», ООО «Мастер-пресс», ООО «Бантстиль» и т. д.

Участие в ярмарочно- выставочной деятельности позволяет предприятию информирование потенциальных потребителей о новой продукции, сферах ее применения и возможностях приобретения; обмен коммерческой информацией с другими регионами, что способствует рационализации хозяйственных связей; освещение достижений перспектив развития в области науки и техники, освоения и внедрения новой технологии, прогрессивных технологических процессов и т.д.

Важное значение при разработке фирменного стиля имеет фирменная цветовая идентификация, так как она выполняет такие функции, как различительная, познавательная и эстетическая. Цветами фирменного стиля ОАО «Амкодор» являются синий, желтый, серебро. Товарный знак «Амкодор» известен во многих странах мира. За многие годы техника с маркой «Амкодор» завоевала репутацию продукции высокого качества и надежности. Исходя из специфики продукции «Амкодор» личные продажи на предприятии не осуществляются. Организация имеет постоянных и надежных партнеров, а также она имеет собственную товаропроводящую сеть по реализации техники.

## **Трансформация бизнес-моделей предприятий под влиянием индустриального интернета вещей**

Лавренова О.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях развития информационно-коммуникационных технологий, расширения влияния сети интернет на формирование открытых информационных систем и промышленных сетей промышленные предприятия переходят на четвертую ступень индустриализации. Высокими темпами развивается четвертая технологическая революция, с которой связывают такие явления, как: цифровое производство, экономика «совместного использования» (shared economy), коллективное потребление, облачные вычисления, децентрализация управления. В корпоративном сегменте технологической платформой для перехода предприятий к цифровой экономике является Индустриальный (промышленный) интернет вещей (далее Интернет вещей) – система объединённых компьютерных сетей и подключенных к ним физических объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удалённого контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека.

Зарубежные эксперты признают Интернет вещей технологией, трансформирующей организацию бизнес-процессов, систему управления предприятием и его бизнес-модель. Исследования J'son & Partners Consulting по результатам применения Интернета вещей в мире показывают, что количественный рост Интернета вещей и организационно-технологическая трансформация производства влекут за собой и качественные изменения в экономике. Во-первых, данные о характере использования продукта и оборудования, которые ранее не были доступны для всех участников производственного цикла, становятся основой формирования новых бизнес-моделей и обеспечивают дополнительный доход от предложения новых услуг. Во-вторых, происходит формирование более эффективной и производительной «экономики совместного использования» за счёт максимального использования доступных ресурсов, расширения функционала устройств и объектов путём изменения технологий управления ими. В-третьих, оптимизация цепочки создания стоимости на всех этапах жизненного цикла продукта в режиме реального времени позволяет выполнять кастомизацию продукта по минимальной цене для потребителя и с прибылью для производителя, как при массовом производстве.

Насонова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Мировой опыт показывает, что дивидендная политика предприятия оказывает непосредственное влияние на привлекательность его инвестиционных и финансовых проектов, а также структуру и размер капитала. Типы дивидендной политики:

**1. Начисление дивидендов по остаточному принципу** (после удовлетворения инвестиционных потребностей и формирования достаточных источников для развития). Плюсы: обеспечение максимально возможных темпов роста предприятия и требуемого уровня финансирования за счет внутренних источников. Минусы: нестабильность и неопределенность будущих дивидендов; негативный фактор для инвесторов и рынка.

**2. Поддержание целевого норматива коэффициента дивидендных выплат (PR)**. Плюсы: стабильный уровень дивидендов; четко определенная и предсказуемая дивидендная политика для инвесторов. Минусы: снижает возможность и темп роста предприятия за счет внутренних источников; необходимость привлечения внешнего финансирования в случае благоприятных инвестиционных возможностей; необходимость снижать уровень выплат при неблагоприятных условиях.

**3. Гарантированный минимум плюс дополнительные дивиденды**. Плюсы: возможность гибко увеличивать дивиденды при росте прибыли и не сокращать их при ее снижении; поощряет заинтересованность менеджмента и акционеров в повышении прибыльности предприятия; определяет возможность дополнительных выплат дивидендов, менеджмент сигнализирует о том, что они не являются постоянными. Минусы: необходимость получать некоторый минимальный размер прибыли для выплаты гарантированных дивидендов; негативная реакция инвесторов и рынка в случае изменения дивидендной политики.

**4. Постоянное значение дивиденда на акцию**. Плюсы: прогнозируемый для инвесторов денежный поток; удобство планирования движения денежных средств для предприятия. Минусы: невыплата дивиденда при отсутствии или недостаточности прибыли; недополучение дохода инвесторами в случае увеличения прибыли.

Анализ дивидендной политики белорусских предприятий показывает, что она осуществляется, в основном, по остаточному принципу, но все рассмотренные типы дивидендной политики используются.

**Конкурентоспособность продукции и методы ее оценки**

Плясунков А.В., Великода Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Конкурентоспособность продукции – комплексная многоаспектная характеристика, отражающая способность продукции в течение периода ее производства соответствовать по качеству требованиям конкретного рынка (рынков), адаптироваться по соотношению качества и цены к предпочтениям потребителей, обеспечивать выгоду производителю при ее реализации.

Для комплексной оценки конкурентоспособности новых изделий предлагается использовать систему показателей, включающую:

- коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя ( $K_{\text{КСП,потреб}}$ );
- коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения производителя ( $K_{\text{КСП,производ}}$ ).

Коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя показывает, во сколько раз максимальная цена, за которую можно реализовать изделие, превышает фактическую цену его реализации.

$$K_{\text{КСП,потреб}} = \frac{U_{2\text{ВП}}^{\text{омн}}}{U_2^{\text{омн}}},$$

где  $U_{2\text{ВП}}^{\text{омн}}$  – верхний предел отпускной цены оцениваемого изделия, отражающий потребительскую ценность товара или стоимостную оценку качества товара, т.е. максимальную цену, которую покупатель считает возможным заплатить за товар;  $U_2^{\text{омн}}$  – отпускная цена оцениваемого изделия.

Коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения производителя показывает, во сколько раз фактическая отпускная цена реализации при выходе изделия на рынок превышает минимальную отпускную цену, рассчитанную затратным методом.

$$K_{\text{КСП,производ}} = \frac{U_2^{\text{омн}}}{U_{2\text{НП}}^{\text{омн}}},$$

где  $U_{2\text{НП}}^{\text{омн}}$  – нижний предел отпускной цены оцениваемого изделия.

Если  $K_{\text{КСП,потреб}} > 1$  и  $K_{\text{КСП,производ}} > 1$ , то покупка и реализация новой продукции выгодны и потребителю, и производителю. Выполнение этих условий необходимо для разработки, производства и успешной реализации новой продукции.



**Конкурентоспособность предприятия и методы ее оценки**

Плясунков А.В., Передня О.В.

Белорусский национальный технический университет

Под конкурентоспособностью предприятия предлагается понимать способность предприятия быть более эффективным по сравнению с предприятием-конкурентом.

Конкурентоспособность предприятия предлагается определять по следующей формуле:

$$КСП_{2,1} = P_{2A} / P_{1A},$$

где  $КСП_{2,1}$  - конкурентоспособность оцениваемого предприятия по отношению к предприятию-конкуренту;  $P_{2A}$ ,  $P_{1A}$  – рентабельность активов соответственно оцениваемого предприятия и предприятия-конкурента.

Если  $КСП_{2,1} > 1$ , то оцениваемое предприятие более конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент. Если  $КСП_{2,1} = 1$ , то оцениваемое предприятие и предприятие-конкурент имеют одинаковую конкурентоспособность. Если  $КСП_{2,1} < 1$ , то оцениваемое предприятие менее конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент.

Рентабельность активов предлагается определять по следующей формуле

$$P_A = \Pi_{ч} / A,$$

где  $\Pi_{ч}$  – чистая прибыль предприятия,  $A$  – активы предприятия.

В свою очередь чистая прибыль предприятия определяется: выручкой от реализации продукции, которая зависит от конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя; затратами на производство и реализацию продукции, которые зависят от эффективности управления затратами; налогами из выручки и прибыли от реализации продукции, которые зависят от законодательства в области налогообложения. Рентабельность активов определяет насколько эффективно используются ресурсы предприятия. То предприятие, которое более эффективно использует свои ресурсы и является более конкурентоспособным. Конкурентоспособность предприятия – это относительный показатель, так как «сегодня» одно предприятие лучше использует свои ресурсы, чем другое, но «завтра» ситуация может измениться. Поэтому предприятие постоянно должно повышать эффективность использования своих ресурсов, чтобы быть более конкурентоспособным, чем другие предприятия. Этому в том числе может способствовать создание эффективной системы управления конкурентоспособностью предприятия.

**Автоматизация промышленного предприятия с использованием различных классов информационных систем**

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизация – это комплекс действий, который, с одной стороны, позволяет осуществлять быструю корректировку задач, которые стоят перед компанией, с учетом обстановки на рынке, а с другой – дает возможность тотального контроля сотрудников, который при разумном использовании может повысить эффективность работы всего персонала. Благодаря этой маневренности организации, ориентированные на потребителя и внедрившие информационные системы (ИС) более высокого класса, получают значительное конкурентное преимущество в управлении производственным процессом. Все существующие ИС можно сгруппировать по виду бизнес-процессов на промышленном предприятии.

Бизнес-процессы управления прекрасно покрываются функциональностью совокупности следующих двух систем: ERP (управления ресурсами предприятия) и SCM (управления цепями поставок). Ключевые бизнес-процессы – следующей совокупностью ИС управления: WMS (складом), ЕАМ (активами предприятия), ТMS (транспортировками), НСМ (человеческими ресурсами), РРМ (портфелем проектов), CRM (взаимоотношениями с клиентами) и др. Вспомогательные бизнес-процессы – ИС управления: ЕСМ (корпоративным контентом), GRC (рисками и соответствием требованиям), MDM (мастер-данными) и др.

Все эти системы должны работать совместно как единый информационный комплекс, и на уровне транзакций, и на уровне аналитики. При этом системы, автоматизирующие ключевые бизнес-процессы, и системы, предназначенные для автоматизации вспомогательных бизнес-процессов, часто могут входить в состав систем управления. Начинать же автоматизацию целесообразно с тех бизнес-процессов, которые могут способствовать ускоренному достижению миссии предприятия, его целей и стратегии. При этом любая задача автоматизации должна оцениваться с позиции «эффективность/затраты».

В свою очередь это приведет к: защите предприятия от недобросовестных сотрудников и минимизации нанесенного ими вреда; улучшению качества продукции и оказания услуг; эффективному контролю над материальной базой предприятия и запасами на складах; постоянному мониторингу производства компании; упрощению процесса информирования внешних и внутренних контролирующих органов и т. д.

**Оценка финансового состояния предприятия машиностроительного комплекса в период посткризисного восстановления отрасли**

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Как показывают данные Министерства статистики Республики Беларусь белорусская промышленность выходит из кризиса, однако финансовое состояние многих ее предприятий по-прежнему остается неустойчивым. Это обусловлено дефицитом денежных средств и низкой платежеспособностью; снижением отдачи на вложенный в предприятие капитал; проблемами с погашением будущих обязательств предприятий машиностроительной отрасли вследствие роста ее финансовой зависимости от кредиторов. Для того, чтобы обеспечить себе финансовое равновесие и усилить свои позиции на рынке предприятиям необходимо осуществлять эффективную инвестиционную политику. Именно поэтому все мероприятия финансового оздоровления должны быть увязаны с задачей повышения эффективности инвестиционной деятельности, а инструментарий оценки финансово-экономического состояния должен включать следующие этапы: 1. предварительная оценка финансового состояния, 2. анализ ликвидности, 3. анализ финансовой устойчивости, 4. оценка финансовых результатов, 5. анализ прибыльности, 6. факторный анализ рентабельности собственного капитала, 7. анализ убытков предприятия, 8. анализ вероятности банкротства, 9. оценка возможностей финансового оздоровления предприятия.

Данный развернутый анализ позволит предложить комплексный механизм финансового оздоровления предприятия, который будет включать как внутренние (используемые самим предприятием), так и внешние (реализуемые при помощи сторонних юридических и физических лиц) мероприятия. При этом можно будет сразу выделить 3 уровня мероприятий: оперативные (направленные на уменьшение размера текущих финансовых обязательств предприятия в краткосрочном периоде и на увеличение объемов денежных активов, которые обеспечивают срочное погашение этих обязательств), тактические (способствующие достижению финансового равновесия в планируемом периоде) и стратегические (обеспечивающие поддержание достигнутого финансового равновесия в длительном периоде и его экономическое развитие в перспективе благодаря выбору конкретной модели устойчивого экономического роста и соответствующей группы базовых показателей финансовой стратегии предприятия).

# **Горные машины**

**К вопросу о методическом обеспечении  
курсового проектирования**

Нагорский А.В, Казаченко Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Практика руководства курсовым проектированием по специальным предметам выпускающей кафедры показывает, что подавляющее большинство студентов старших курсов, включая и дипломников, не обладают в достаточной мере требуемыми компетенциями в части технической культуры оформления проектной документации, имеют поверхностные первоначальные представления о методологии проектирования и конструирования технических объектов, не владеют достаточными навыками технической аргументации и логически последовательного обоснования принимаемых проектных решений. Авторами, с целью устранения отмеченных недостатков в подготовке будущих горных инженеров, на основе обобщения многолетнего опыта методической работы коллектива кафедры «Горные машины» предпринята попытка решения этой задачи путем разработки соответствующего методического обеспечения курсового проектирования по дисциплине базового компонента «Горные машины и оборудование» [1].

Целью методические указания является оказание помощи студентам в освоении методологических основ проектирования и конструирования горных машин и оборудования, доступное преподнесение логики и практики поэтапного создания новых технических объектов, развитие у студентов творческих навыков аргументированного обоснования, последовательного и технически грамотного изложения и изображения в конструкторских документах принимаемых технических решений.

В методических указаниях приведены актуальные требования к составу и объему конструкторской документации, логической последовательности выполнения проектных расчетов и конструирования средств механизации горных работ, примерному содержанию разделов пояснительной записки курсового проекта. Изложены действующие правила составления и оформления текстового и иллюстративного материала, таблиц, формул, списка использованных источников и приложений пояснительной записки. Приведены современные правила составления и образцы выполнения соответствующих графических конструкторских документов.

**Литература**

Горные машины и оборудование. Методические указания к курсовому проектированию. В 2 частях. Электронный учебный материал. – Минск.: БНТУ, 2015. – 26 с.; 2016. – 58 с. - Режим доступа: <http://www.bntu.by/>.

Матвеевко Д.С., Березовский Н.И.

Белорусский национальный технический университет

В связи с ростом объемов бурения наклонных и субгоризонтальных скважин, возрос объем бурения с управлением искривления в продуктивном горизонте. По мере развития забойных телеметрических систем технологии наклонно-направленного бурения постоянно совершенствуются. Одним из видов таких геотехнологий являются роторные управляемые системы (РУС), широко применяемые за рубежом.

РУС позволяют изменять угол наклона ствола скважины без поднятия инструмента на скважину, тем самым экономит время на спуско-подъемные операции. Выбор роторных управляемых систем обеспечивает возможность бурения более длинных интервалов с равномерным диаметром стволов, что облегчает спуск обсадных труб.

Обоснованный и технически корректный выбор технологии – РУС или ВЗД – может значительно повысить производительность и снизить затраты. Выбор должен осуществляться для конкретного месторождения исключительно на основании тщательного проектирования и расчета затрат, при этом следует учитывать вид долота, характер породы, конструкцию обсадной колонны, температуру и давление в скважине, технические характеристики буровой установки и другие аспекты.

Роторная управляемая система предпочтительна при бурении сложных участков с малым радиусом допуска. Высокопроизводительный винтовой забойный двигатель может обеспечивать такие же результаты, что и РУС, в более мощных пластах и в случае, когда роторное бурение будет сведено к минимуму.

На сегодняшний день в условиях месторождений Припятского прогиба нет острой необходимости применения данной геотехнологии. Но с учётом тенденции развития нефтяной промышленности в Республике Беларусь и возможностью выхода на мировой рынок (связанной с необходимостью расширения спектра новейших технологий, направленных на увеличение эффективности строительства скважин) – вполне вероятно, что в ближайшие годы эта технология станет востребована и очень актуальна.

**Особенности горизонтального шнекового бурения**

Казаченко Г.В., Нагорский А.В.

Белорусский национальный технический университет

При предполагаемом пересечении подземными горными выработками геологических нарушений в массиве залежи, во избежание газодинамических явлений, согласно регламенту безопасного ведения горных работ проводится предварительное инициирование буровзрывным способом процессов релаксации горного давления в зоне нарушения. Одна из проблем, с которой приходится сталкиваться при шнековом бурении горизонтальных взрывных шпуров в пластичных и вязких глинисто-соляных и глинисто-доломитовых породах без продувки воздухом или промывки рассолом, – большая вероятность заштыбовки бурового инструмента мелочью и последующее его неизбежное “заклинивание”, приводящее к потере инструмента и шпура. Ликвидация аварийных ситуаций требует дополнительных затрат средств и времени, что приводит к снижению производительности, как в бурении взрывных шпуров, так и при добыче полезного ископаемого.

Анализ проблемы показал, что для ее решения требуется нахождение методов рационального выбора регулируемых режимных параметров применяемого бурового оборудования, позволяющих проводить процесс в установленном режиме, исключая заштыбовку бурового инструмента, с максимально допустимой механической скоростью бурения. Один из таких методов – аналитическое исследование рабочего процесса горизонтального шнекового бурения с помощью его математической модели, включающей в себя основные функциональные соотношения между геометрическими, кинематическими, силовыми и энергетическими параметрами буровой установки и физико-механическими свойствами горных пород.

Целью данной работы являлось формирование математической модели установившегося процесса горизонтального шнекового бурения, адекватно отвечающей реальным условиям, присущих схеме взаимодействия поверхности спирали шнекового става и стенки горизонтальной скважины с измельченной горной массой.

Представляемые в докладе соотношения между геометрическими, кинематическими, и энергетическими параметрами буровой установки и физико-механическими свойствами горных пород позволяют разрабатывать алгоритмы и номограммы для выбора рациональных режимных параметров бурового оборудования и в перспективе представляют интерес для разработки систем автоматического регулирования режимных параметров.

**Оценка запаса устойчивости очистных комбайнов в рабочем режиме на ставе забойного конвейера**

Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

На рудниках «Беларуськаляя» широко применяется столбовая система отработки пластов полезного ископаемого с использованием современных высокопроизводительных очистных комплексов. Ежегодные объемы руды, поставляемые от очистных комплексов на солеобогатительные фабрики, составляют свыше 40 млн. тонн при объеме конечной продукции, т. е. калийных удобрений по объединению «Беларуськалий», 8 млн. тонн.

Основными составляющими очистного комплекса являются: один-три очистных комбайна, забойный скребковый конвейер, комплекс гидромеханизированных крепей, а также энергостанция. Эффективность работы комплексов может достигаться мероприятиями по модернизации конструкций оборудования, а также оптимизации режимов его эксплуатации, т. е. за счет повышения надежности, увеличения производительности, снижения энергоёмкости, уменьшения металлоёмкости и обеспечения безопасного ведения горных работ.

В рамках решения задачи по оценке устойчивости комбайна на ставе скребкового забойного конвейера за основу принята методика, изложенная в книге Морозова – «Очистные комбайны».

В работе составлены принципиальные расчетные схемы и зависимости, которые использовались при анализе устойчивости пяти наиболее распространенных очистных комбайнов, применяемых на рудниках «Беларуськаляя». Отличительной особенностью этих комбайнов является наличие одного или двух режущих шнеков, их положение относительно корпуса машины, а также валовая или селективная схема отработки пласта. При оценке устойчивости по данной методике использовано условие, что четырёхопорная жесткая система комбайна заменяется на трёхопорную. т. е. одна из четырех реакций в опорах принимается равной нулю. Для составления уравнений равновесий комбайна в рабочем режиме определены значения активных сил и моментов на рабочем органе, в зависимости от установленной мощности электродвигателей и конструктивных параметров фрез. Определены значения вертикальных и горизонтальных реакций в опорах, а также тяговое усилие.

Результаты расчетов показывают, что запас устойчивости очистных комбайнов в рабочем режиме на ставе забойного конвейера составляет от 1,1 до 3,8.



Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Молотковые дробилки применяют для дробления материалов средней и малой прочности за счет энергии удара быстровращающихся молотков. Основное разрушение в дробилке происходит за счет удара движущегося молотка по частице, кинетическая энергия которого частично или полностью переходит в энергию деформации и разрушения.

Целью данной работы является получение на основе теоретических основ дробления материалов и их физико-механических свойств математических зависимостей и рекомендаций по определению скорости по концам молотков. Считается, что основное разрушение частиц происходит при встрече ее с молотком вращающимся с определенной скоростью. При этом скорость по концам молотков исходя из законов количества движения и при условии, что начальная скорость частицы равна нулю, определяется зависимостью  $v = \frac{P \cdot t}{m}$ , м/с. Здесь  $P$  – средняя сила сопротивления разрушению частицы, Н;  $t$  – время удара молотков по частице, с;  $m$  – масса частицы, кг.

Для материалов, имеющих округлую форму сила  $P$  определяется:  $P = [\sigma_{сж}] \frac{\pi d^2}{4}$ , Н, где  $[\sigma_{сж}]$  – предел прочности на сжатие частицы, Па;  $d$  – диаметр частицы, м. С учетом, что масса частицы равна  $m = V_c \cdot \rho = \frac{1}{6} \pi d^3 \cdot \rho$ , кг., где  $V_c$  – объем частицы, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>, скорость определится  $v = \frac{1,5[\sigma_{сж}]t}{d\rho}$ , м/с.

Анализ данного выражения позволяет сделать выводы, что с увеличением размеров и плотности дробимого материала скорость по концам молотков дробилки необходимо уменьшать и наоборот с увеличением прочности дробимого материала с целью достижения необходимой для разрушения энергии молотков скорость ротора надо увеличивать.

Для определения скорости по концам молотков необходимо располагать значением времени  $t$  удара молотка по частице. Для этого предлагается использовать данные технических параметров существующих дробилок.

Таким образом данная методика позволяет точно определять окружную скорость по концам молотков, обеспечивая высокую эффективность ее работы.

**Исследование массы барабанов ленточных конвейеров на базе анализа их напряженно-деформированного состояния**

Прушак В.Я., Миранович О.Л.

ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения  
с опытным производством»

Для точной оценки массы барабанов сотовой конструкции в зависимости от натяжения ленты для различных типоразмеров необходимо исследование напряженно-деформированного состояния барабанов сотовой конструкции. Полученную массу барабана сотовой конструкции можно сравнить с массой обычного барабана, работающего в аналогичных условиях. Для исследования напряженно-деформированного состояния необходимо проведение вариантных расчетов барабанов обычной и сотовой конструкции. При этом для каждого варианта нагружения нужно рассчитывать два барабана различных конструкций.

Расчеты осуществлялись для неприводных барабанов с углом обхвата барабана лентой  $\alpha = 180^\circ$ . При расчетах фиксировалась величина наибольших эквивалентных напряжений, возникающих в обечайке и лобовинах барабанов обычной конструкции и в обечайке и элементах каркаса барабанов сотовой конструкции независимо от типоразмера барабана и величины прикладываемых нагрузок. Равенство напряжений в элементах барабанов достигается изменением их толщины. Значения толщины всех элементов барабанов принимаются в соответствии с типоразмерным рядом выпускаемого проката.

По результатам проведенных вариантных расчетов барабанов обычной и сотовой конструкции различных типоразмеров получены зависимости массы барабаном от величины натяжения конвейерной ленты.

Определено, что целесообразнее применение барабанов сотовой конструкции на мощных ленточных конвейерах с широкой лентой и большими нагрузками. Так, например, при ширине ленты  $B=3000$  мм разница в массе обычного барабана и барабана сотовой конструкции колеблется от 600 до 1100 кг, при изменении натяжения ленты с 1700 до 3000 кН, что составляет 17 и 23 % соответственно. А при ширине ленты  $B=650$  мм разница в весе барабанов двух конструкций составляет 7-13% при изменении  $S_{нб}$  со 100 до 400 кН.

В ходе исследований было установлено, что меньшую, на 15–20 %, массу имеют барабаны сотовой конструкции, у которых необходимая прочность достигается за счет увеличения толщины обечайки, а не элементов сотового наполнителя при прочих равных условиях.

**Моделирование обечайки барабана ленточного конвейера**

Миранович О.Л.

ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения  
с опытным производством»

При составлении конечно-элементной модели барабана сотовой конструкции были сделаны следующие допущения: отсутствие взаимного смещения соприкасающихся граней шестигранников и трехгранников; трехгранные тела, при их использовании, имеют ту же толщину, что и шестигранные.

Учитывая симметричность конструкции и прикладываемых нагрузок, возможно проведение расчета половины барабана, при заданных соответствующих граничных условиях. В качестве граничных условий, прикладываемых по линии разреза, выбраны, для моделирования недостающей половины, следующие: запрещены перемещения вдоль оси  $X$  и повороты вокруг осей  $Y, Z$ .

При разработке конечно-элементной модели в нее была заложена следующая идея: постоянное количество узлов конечно-элементной сетки на окружности обечайки (30 узлов), причем дуга, соответствующая одной грани шестигранника, разбивается на 2 участка, а дуга, соответствующая двум граням шестигранников (в этот просвет могут вставляться трехгранные тела), разбивается на 3 участка. Этим достигается примерное равенство центральных углов, соответствующих каждому конечному элементу. Эти углы из геометрических соображений равны  $10,89^\circ$  и  $12,74^\circ$  соответственно. Нагрузки в узлах конечно-элементной сетки обечайки барабана сотовой конструкции рассчитываются в соответствии с методикой, описанной выше.

Для облегчения получения конечно-элементной модели барабана ленточного конвейера сотовой конструкции была разработана программа, позволяющая автоматизировать этот процесс. Модель барабана составляется по следующим входным параметрам: натяжения набегающей и сбегавшей ветви ленты; угол обхвата лентой обечайки; ширина ленты; диаметр барабана; толщина обечайки; толщина шестигранника; количество узлов конечно-элементной сетки на половине образующей обечайки; наличие либо отсутствие трехгранных элементов; наличие либо отсутствие в модели барабана вала.

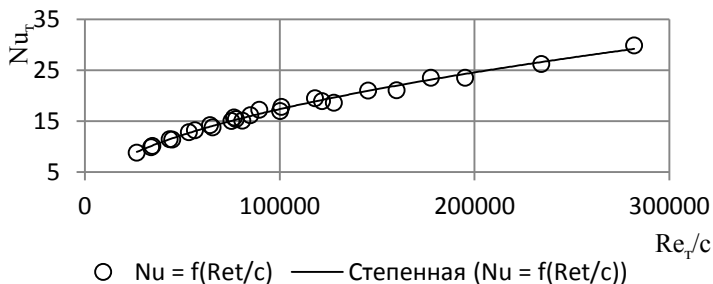
Поскольку отсутствие вала в модели не приводит к снижению точности расчета, его влияние было смоделировано введенными граничными условиями.

## Влияние истинной концентрации на теплообмен при вертикальном пневмотранспорте фрезерного торфа

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Истинная объемная концентрация торфяных частиц в аэросмеси определена по методике [1] обработкой экспериментальных зависимостей перепада давления на участке вертикального пневмотранспортного трубопровода от приведенной скорости воздуха при различных массовых производительностях  $Q_m$ . Обработаны режимы вертикального пневмотранспорта верхового фрезерного торфа с массовыми расходными концентрациями до 40 кг/кг, что соответствует значениям истинной объемной концентрации  $c \leq 0,0076.. 0,049$ . Значения критерия Нуссельта как функции критерия Рейнольдса для торфяной частицы определены по методике Таганцевой Ф.Т. Получена аппроксимирующая зависимость  $Nu_T = f(Re_T, c)$ , которая для указанного диапазона истинной объемной концентрации имеет вид  $Nu_T = 0,0538(Re_T/c)^{0,5016}$ . Характер зависимости представлен на рисунке.



### Литература

Петренко, С.М. Методика определения действительных режимных параметров пневмотранспорта фрезерного торфа/ С.М. Петренко // Проблемы технологии и механизации разработки месторождений полезных ископаемых: Сб. науч. тр. Междунар. научно-техн. конф., Минск, 20-23 февраля 2009 г. / Ч.1. –Минск, 2009. – С. 106–109.

## Оценка времени выравнивания температур торфяных частиц и несущей воздушной фазы при пневмотранспорте

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Движение торфовоздушных аэрозмесей в системах обеспыливания и пневмотранспорта торфобрикетных заводов может сопровождаться межфазным теплообменом между воздушной и твердой фазами вследствие разности их температур.

Выполнена оценка влияния среднего диаметра торфяных частиц на время выравнивания температур частиц и несущей воздушной фазы при заданном перепаде температур между ними. Время межкомпонентного выравнивания температур твердой и газовой фаз определено из соотношения [1]

$$\tau \geq (1,67 \cdot 3,33) \frac{d_T^2}{4\alpha_T},$$

где  $d_T = f^{0,5} d_{\text{экв}}$  – диаметр шаровой частицы, эквивалентной реальной торфяной частице по поверхности;  $f$  – геометрический коэффициент формы торфяных частиц;  $d_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр торфяной частицы по объему;  $\alpha_T$  – коэффициент температуропроводности торфяной частицы. Принято, что значение коэффициента температуропроводности торфяной частицы не зависит от градиента температур.

При осредненных значениях коэффициента теплопроводности для фрезерного торфа  $\lambda_T = 0,302$  Вт/(м·°К) и коэффициента температуропроводности торфяных частиц  $\alpha_T = 14,84 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с при градиенте температур фаз 20°С время установления теплового равновесия возрастает по экспоненте с увеличением среднего диаметра торфяных частиц. Изменение среднего диаметра с 0,05 мм до 2,5 мм вызывает увеличение времени установления теплового равновесия с 0,01с до 16,85 с.

### Литература

Горбис, З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков / З.Р. Горбис. – М.: Энергия, 1970. – 424 с.

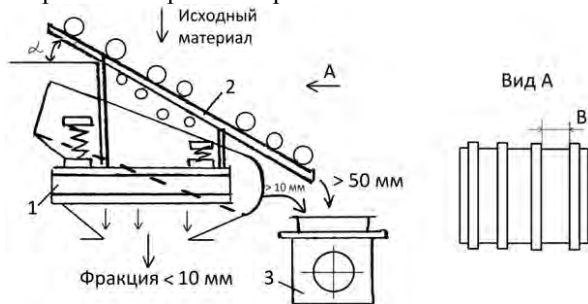
## Способ повышения эффективности работы вибрационного грохота

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

На горных обогатительно–перерабатывающих предприятиях в соответствии с технологией осуществляется измельчение и классификация по размеру частиц различных сыпучих материалов. Так в технологии механической подготовки калийной руды на обогатительных фабриках ОАО «Беларуськалий» предусмотрено предварительное грохочение всей руды на виброгрохоте ГИТ 51 до размера частиц менее 10 мм. Крупные частицы размером от 10 до 150 мм, т. е. надрешетный продукт, направляются на дробление в молотковую дробилку. Фракционный анализ калийной руды, подаваемой на грохот показывает, что содержание частиц свыше 10 мм в ней находится до 40 % и половина из них превышает 50–60 мм. Наличие большого количества крупной фракции руды не позволяет получить высокую степень эффективности грохочения за счет препятствия прохождению мелкой фракции частицами с большими размерами чем отверстия просеивающей поверхности.

Для увеличения эффективности грохочения предлагается установить над рабочей поверхностью грохота 1 колосниковую решетку 2 (рисунок) с размером щелей между колосниками  $B = 50$  мм и углом наклона  $\alpha$  большим чем угол трения материала по решетке.



1 – грохот; 2 – колосниковая решетка; 3 – дробилка

Схема работы грохота с колосниковой решеткой

Данное техническое решение позволит увеличить эффективность работы грохота на 10–20% за счет предварительного отсева крупной фракции на колосниковой решетке.

**Эффективные варианты использования местных видов топлива  
и вторичных энергоресурсов в промышленности**

Лесун Б.В.

Белорусский государственный университет

Эффективным вариантом использования местных видов топлива (МВТ) следует считать такой, который обеспечивает максимальную экономическую выгоду от использования потенциальной ценности полезного ископаемого при ограничении негативного воздействия на составляющие окружающей среды при этом использовании

Структурно-механические свойства сырьевых материалов определяют соответствующие методы их подготовки к термической обработке. 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. Спеканию подвергаются малопластичные глинистые породы, которые при обжиге не вспучиваются. Некоторые вскрышные породы горных предприятий Республики Беларусь отвечают этим требованиям. За счет горения угля, который вводится в шихту, развивается температура до 1300 К. Это приводит к спеканию шихты в пористую остеклованную массу.

При использовании вторичных энергоресурсов (ВТЭР) рассчитываются следующие основные показатели: оценка выхода; выработка энергии, рациональное использование, экономия топлива, степень использования, коэффициент утилизации, показатель использования. Эти показатели характеризуются количеством ВТЭР, образующихся в процессе производства в данном технологическом агрегате за единицу времени, а также количеством энергии, получаемой при использовании ВТЭР в утилизационной установке.

Были проведены испытания по замене древесных опилок фрезерным торфом низинного типа, степень разложения 30%, влажность 45%, зольность 25% по выпуску опытных партий блоков керамических поризованных пустотелых 2,12 НФ с использованием глины месторождения «Лукомль-1» Минского района с последующим определением качественных показателей.

Следует отметить, что полученные изделия по основным техническим характеристикам (плотность, прочность, масса, морозостойкость) соответствует требованиям стандарта, что позволяет использовать МВТ и ВТЭР в промышленности

**Комплексная технология утилизации пылепаровоздушной смеси  
при переработке горных пород**

Березовский Н.И., Борисейко В.В.

Белорусский национальный технический университет

При переработке и обогащении горных пород обязательной технологической операцией является сушка. Высушенное сырье влажностью до 15-20 % (фрезерный торф), или 5-8,5 % (флотационный концентрат калия хлористого), 0,1-0,5 % (калий хлористый после сушильного аппарата «кипящего слоя») на всех стадиях переработки при его транспортировке и переработке в готовую продукцию (торфяные топливные брикеты, гранулы калия хлористого) склонно к пылению, что снижает экологические и экономические показатели их производства, а также существенно влияет на культуру производства. Существующие в горной промышленности аппараты газоочистки недостаточно обеспечивают утилизацию пылепаровоздушной смеси и расходуют в значительном количестве такой ценный природный ресурс как вода.

Проведенные испытания сухих рукавных фильтров типа *SimPact* 4T-R на торфобрикетных заводах подтверждают возможность их использования для утилизации пылепаровоздушной смеси повышенной влажности и температуры до 100 °С. Утилизированная с помощью водоотталкивающих рукавных фильтров с автоматическим устройством регенерации рукавов позволяет осажденную пыль направлять на дополнительное производство готовой продукции, а влагу, испаренную из сырья, конденсировать в отдельную емкость за счет прохождения горячего (81–100 °С) воздушного потока через водяной бойлер. Холодная вода, проходящая через бойлер, под воздействием очищенного горячего потока паровоздушной смеси, предварительно очищенной от пыли, имеет возможность нагрева до температуры, приемлемой для использования в быту и на производстве.

Одним из главных условий работоспособности фильтровальной установки является поддержание рабочей температуры выше точки росы, для чего требуется термоизоляция воздухопроводов и самого фильтра.

Применение точечных сухих рукавных фильтров *Simatek* типа JM 6/19 или JM 15/24 с низким энергопотреблением от 0,75 до 2,2 кВт на скребковых конвейерах (подтверждено испытаниями в промышленных условиях) и ленточных конвейерах типа «*Liftube*» позволит значительно снизить металлоемкость аппаратов газоочистки, расходы воды и электроэнергии.



**Катодная и ингибиторная защита от коррозии  
деталей горно-шахтного оборудования**

Тарасов Ю.И., Давыденко Н.И.

Белорусский национальный технический университет

Из всех методов защиты основанных на изменении электрохимических свойств металла под действием поляризующего тока, наибольшее распространение получила защита при наложении на них катодной поляризации (катодная защита).

Защита металла катодной поляризацией применяется для повышения стойкости металлических сооружений в условиях подземный (почвенной), а также при контакте металлов с агрессивными химическими средами. Она является экономически оправданной в тех случаях, когда коррозионная среда обладает достаточной электропроводностью, и потери напряжения (связанные с протеканием защитного тока), а следовательно, и расход электроэнергии сравнительно невелики. Катодная поляризация защищаемого металла достигается либо наложением тока от внешнего источника (катодная защита с использованием станций катодной защиты). Он играет здесь роль анода и растворяется со скоростью, достаточной для создания в системе электрического тока необходимой силы (протекторная защита). Растворимый анод при протекторной защите часто называют «жертвенным анодом». Обработка среды включает в себя все способы, уменьшающие концентрацию компонентов, особенно опасных в коррозионном отношении. Так, например, в нейтральных солевых средах и пресной воде одним из самых агрессивных компонентов является кислород. Его удаляют деаэрацией или смазывают при помощи соответствующих реагентов (сульфиты, гидразин и т. п.).

Ингибиторы коррозии разделяют, в зависимости от условий их применения, жидкофазные и парофазные. Жидкофазные ингибиторы делят в свою очередь на ингибиторы коррозии в нейтральных, щелочных и кислых средах. В качестве ингибиторов для нейтральных растворов чаще всего применяются неорганические вещества анионного типа. Их тормозящее действие связано с окислением поверхности металла (нитраты, хроматы) или с образованием пленки труднорастворимого соединения между металлом и кислородом. Все ингибиторы для нейтральных сред тормозят преимущественно анодную реакцию, смещая стационарный потенциал в положительную сторону.

**Особенности диагностирования подшипниковых узлов**

Тарасов Ю.И., Курак Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Подшипниковые узлы с подшипниками качения являются неотъемлемой частью большого числа различного оборудования горных машин. Спектр вибрации подшипниковых узлов лежит в широком диапазоне частот (от единиц до 20 000 Гц.). В диагностических целях приходится идентифицировать частоты их вибрации, виброскорости и виброускорения.

Важнейшими характеристиками технических возможностей методов контроля являются: чувствительность и разрешающая способность метода, достоверность результатов контроля, надежность аппаратуры и простота технического процесса контроля.

Этим требованиям соответствует вибротестер разработки БГУИР и оригинальная установка с применением аналогово-цифрового преобразователя В-480 и персонального компьютера при проведении лабораторных работ по курсу «Испытание и диагностика горных машин» на кафедре «Горные машины». На специальном стенде определялись указанные параметры подшипников с двух сторон вала.

В производстве исправность подшипника во время работы определяют по температуре нагрева с помощью термометров или на ощупь. Подшипник может перегреваться в результате большого износа деталей либо повреждения тел качения, сепараторов или обойм. Правильно собранный и хорошо эксплуатируемый подшипник качения должен работать: при нормальном режиме до 10 000 ч., при тяжелом – до 5000 ч. и при очень тяжелом – 2500 ч.

По результатам измерений строится графическая картина и делается сравнительный анализ состояния подшипников.

При этом следует учитывать, что максимально допустимая овальность шеек валов после износа должна быть не более 0,1 мм, а конусность посадочных мест – допуска на посадку. Пределом износа шеек считают величину эксцентриситета для вала с числом оборотов до 500 мин<sup>-1</sup> – 0,2 мм, а с большим числом оборотов – до 0,1 мм. Для определения этих данных изготовлено и собрано специальное устройство, которое также будет использоваться в учебном процессе.

**Особенности монтажа проходческого комбайна  
в подземных механических мастерских рудников**

Толкач А.М.\*

Белорусский национальный технический университет

Конструктивные параметры проходческих комбайнов ПКС-8 и КРП-3 не позволяют обеспечить доставку машин в собранном виде от завода-изготовителя в подземные горные выработки рудников. В связи с этим конструкция комбайна имеет модульное исполнение, основанное на трех принципах. Два из них – это согласование габаритов и массы его составных частей с эксплуатационными параметрами шахтных подъемных машин. Третий принцип – возможность сборки в подземных механических мастерских при ограниченных размерах рабочего пространства и с применением универсального монтажного оборудования.

С учетом того, что конструкция представляет собой сложную систему, состоящую из механических, гидравлических и электрических модулей, эксплуатационной конструкторской документацией предписаны основные этапы и особенности спуска в шахту, а также монтажа комбайна в производственных условиях.

Монтаж комбайна рекомендуется производить в следующем порядке:

- установить на раме комбайна левую и правую гусеничные тележки;
- установить привод маслососов и бермовых фрез с карданным валом;
- установить устройство управления и гидропульт на него;
- установить гидробак-буфер и подсоединить маслососы к гидробаку-буферу и гидропульту;
- произвести разводку системы гидропривода гусеничных тележек и залить масло в бак;
- подключить электродвигатель маслососов и бермовых фрез к устройству управления через штрековый пускатель ПВИ-320 к сети напряжением 660В (переключатель режима работы устройства управления должен быть установлен в положение «РЕВИЗИЯ»);
- соединить заднюю часть редуктора привода отбойного органа с кронштейном электродвигателей и отрегулировать приводные муфты;
- соединить секции отгораживающего щита;
- собрать ленточный конвейер;
- присоединить редуктор бермовых фрез (с установленными на нем фрезами) к передней части редуктора привода отбойного органа;
- установить заднюю часть редуктора привода отбойного органа (с кронштейном и электродвигателями) на раму комбайна;

- состыковать переднюю часть редуктора привода отбойного органа с задней частью редуктора привода отбойного органа, установленной на раме комбайна;

- установить гидроцилиндры подъема отбойного органа;

- соединить карданный вал с валом редуктора бермовых фрез;

- установить на корпусе редуктора бермовых фрез отрезные устройства;

- установить передние гидроцилиндры, щит отгораживающий и конвейер;

- установить на конвейере гидропульт управления гидроцилиндрами комбайна;

- собрать буровой станок и установить на комбайне;

- установить крестовину (в сборе с лучами) и бур на выходные валы редуктора привода отбойного органа и закрепить их соответственно торцевой шайбой и забурником;

- произвести монтаж кабельной сети комбайна;

- произвести разводку трубопроводов и рукавов системы гидропривода согласно гидравлической схеме соединений;

- установить систему пылепогашения и другие узлы;

- залить масло в редукторы комбайна в соответствии с картой смазки;

- залить воду в раму комбайна.

\* – *Работа выполнена под руководством ст. пр. Г.А. Басалая.*

## Содержание

### **Технические и прикладные науки**

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	96
Экономика и организация энергетики	148
Энергетическое строительство	167
Энергоэффективные технологии	230
Информационные системы и технологии	243
Информационные технологии и автоматизация	283
Металлургические технологии	357
Литейное производство чёрных и цветных металлов	362
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов	386
Машины и технология литейного производства	420
Обработка материалов давлением	435
Материаловедение в машиностроении	446
Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент	472
Экономика и организация машиностроительного производства	486
Горные машины	508

Научное издание

**НАУКА –  
ОБРАЗОВАНИЮ,  
ПРОИЗВОДСТВУ,  
ЭКОНОМИКЕ**

Материалы 15-й Международной  
научно-технической конференции  
(70-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 02.11.2016. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 30,57. Уч.-изд. л. 23,91. Тираж 100. Заказ 801.

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.



