

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

**С. Н. Литунов, Х. А. Хилаль, Т. Ф. Матар**

Экспериментальное определение давления в трафаретном красочном аппарате повышенной точности

С помощью экспериментальной установки изучено влияние вязкости краски, скорости и угла наклона дозирующего ракеля на давления в печатной краске при заполнении отверстий диаметром 65 мкм и 85 мкм. Опыты проводили с помощью методов тензометрии и специального программного обеспечения. Установлено, что для отверстий диаметром 65 мкм длиной 50 мкм и диаметром 85 мкм и длиной 150 мкм, давление изменялось от 1360 Па до 4709 Па, или от 33,8 % до 40,3 %. Полученные результаты необходимы для проверки адекватности модели течения краски перед дозирующим ракелем.

**Ключевые слова:** трафаретная печать, печатная форма, дозирующий рапель

**В. В. Сыркин, И. А. Абрамова, Н. В. Закерничная**

Расчет погрешностей при делении потоков в регуляторах с эластичным регулирующим элементом при переменных нагрузках

Излагается методика расчета делителей потока с эластичным регулирующим элементом в условиях действия переменных нагрузок на исполнительные органы технологических машин, наличие которых существенно влияет на точность исполнительных движений в существующих конструкциях. Эластичный регулирующий элемент позволяет упростить конструкцию делителя, увеличить его быстродействие и повысить точность исполнительных движений рабочих органов.

**Ключевые слова:** делитель потока, синхронизация исполнительных движений, регулирующий орган с эластичным элементом.

**В. В. Сыркин, И. Н. Квасов, Ю. Ф. Галуза, О. С. Дюндик**

Методика расчета делителей потока с эластичным регулирующим органом

Рассматривается методика расчета делителя потока с эластичным регулирующим элементом, который по отношению к существующим конструкциям обладает компактностью конструкции и повышенной надежностью. Введение регулирующего органа в виде эластичного элемента позволяет эффективно компенсировать погрешности деления потока, возникающие в результате действия гидродинамических сил.

**Ключевые слова:** делитель потока, синхронизация, эластичный регулирующий элемент, давление, расход жидкости, ошибка деления потока жидкости.

**И. А. Кузьменко, А. Б. Яковлев**

Расчет статической характеристики системы подачи унитарного топлива в газогенератор жидкостного ракетного двигателя

Рассмотрены статические характеристики однокомпонентного газогенератора для питания турбины и управляющего дросселя системы подачи жидкостного ракетного двигателя.

Приведены уравнения, описывающие процессы, происходящие в унитарном газогенераторе и управляющем дросселе, а также показаны графические зависимости. Представлена математическая модель процессов, позволяющая выявить основные закономерности влияния командных величин и внешних воздействий на выходную величину. Результаты, представленные в работе, позволяют получить динамические характеристики элементов жидкостного ракетного двигателя.

**Ключевые слова:** жидкостной ракетный двигатель, унитарное топливо, жидкостной газогенератор, дроссель.

**Д. А. Блохин, А. Г. Кольцов, М. А. Тотик, А. Г. Дроботун**

Методика оценки и повышения точности шлифовального центра с числовым программным управлением

В статье рассмотрен вопрос повышения точности позиционирования и интерполяции круговых траекторий для шлифовального станка с ЧПУ В3700Ф4 с системой ЧПУ Siemens 802D. В данной работе описана методика оперативного определения различных неточностей реальных перемещений станка с помощью лазерного интерферометра и прибора для измерения точности отработки круговых траекторий с достижимой экономией времени в 40–50 %. Исследованы показатели точности позиционирования, определены основные причины, создающие разность между действительными и заданными перемещениями. Измерен эффект восстановления точности путем создания предварительного натяга в ШВП заменой сепаратора ходовой гайки оси X на точность перемещений станка.

**Ключевые слова:** шлифовальный станок, ремонт оборудования, лазерный интерферометр, люфт в ШВП, Ballbar.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА

**А. В. Бубнов, А. В. Никонов, А. Н. Четверик, Ю. В. Крейдунова**

Улучшение динамики синхронно-синфазного электропривода в переходных режимах синхронизации и фазирования

Синхронно-синфазный электропривод, построенный на основе электропривода с фазовой синхронизацией, широко используются в тепловизионных и лазерных сканирующих системах благодаря высоким точностным и динамическим характеристикам в широком диапазоне регулирования угловой скорости. Целью статьи является разработка способов регулирования синхронно-синфазного электропривода в режимах синхронизации и фазирования, позволяющих улучшить динамические показатели электропривода. Усовершенствован способ фазирования электропривода, квазиоптимальный по быстродействию.

Сформулированы рекомендации по организации переходных процессов при скачкообразном изменении сигнала задания. Предложены схемные реализации импульсного частотно-фазового дискриминатора с расширенной линейной зоной в режиме фазового сравнения, позволяющие улучшить динамику электропривода в режиме синхронизации.

**Ключевые слова:** синхронно-синфазный электропривод, импульсный частотно-фазовый дискриминатор, логическое устройство сравнения, дискриминатор, линейная зона.

**В. Н. Горюнов, А. В. Дед, Е. П. Жиленко, Ю. П. Лавриков, П. С. Смирнов**

Анализ сведений о потерях электрической энергии в филиалах ПАО «МРСК-Сибири» за период с 2010 по 2017 год

В статье представлены результаты анализа данных об отпуске электрической энергии в сеть и отпуске электрической энергии из сети основных филиалов сетевой компании ПАО «МРСК-Сибири» по всем уровням напряжений. Определены средние значения показателей фактических потерь и сделана оценка уровня потерь электроэнергии основных филиалов ПАО «МРСК-Сибири» на соответствие целевых показателей энергетической стратегии развития России до 2030 года.

**Ключевые слова:** потери электрической энергии, контроль качества электрической энергии, стратегия развития, отпуск электроэнергии.

**В. З. Ковалев, Р. Н. Хамитов, Е. М. Кузнецов, В. В. Аникин, В. О. Бессонов**

Определение эксплуатационных параметров погружных асинхронных электродвигателей по идентификационным параметрам Т-образной схемы замещения

Рассмотрена методика определения эксплуатационных параметров погружных асинхронных электродвигателей (ПЭД) – тока статора  $I_1$ , выходной мощности  $P_2$ , коэффициента полезного действия, коэффициента мощности и др. через параметры Т-образной схемы замещения с одноконтурным ротором. Для практической реализации методики разработана программа `SHEM_PAR` в пакете `Matlab 7`. Приводятся результаты определения эксплуатационных параметров у ПЭД типов ЭД(Т)12-117-380, 1ЭД(Т)45-117-1000, 1ЭД(Т)63-117-1000, подтверждающие эффективность программы `SHEM_PAR` и целесообразность ее применения на предприятиях по ремонту погружного электрооборудования для идентификации и контроля параметров ПЭД с целью повышения межремонтного периода эксплуатации в составе установок для добычи нефти.

**Ключевые слова:** активные и индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора.

**С. С. Гиршин, В. М. Троценко, В. Н. Горюнов, О. В. Кропотин, А. О. Шепелев, В. А. Ткаченко**

Упрощенная формула для нагрузочных потерь активной мощности в линиях электропередачи с учетом температуры

Рассмотрено применение упрощенной формулы для расчета потерь активной мощности в линиях электропередачи с учетом температуры в условиях стационарного теплового режима. Приведены результаты сравнения потерь, вычисленных по упрощенной формуле и на основе решения полного уравнения теплового баланса для проводов различных типов. Построены и проанализированы зависимости погрешности расчета от тока нагрузки с учетом и без учета солнечной радиации.

**Ключевые слова:** линии электропередачи, потери мощности, температурная зависимость активного сопротивления.

**О. А. Лысенко, А. В. Симаков, С. А. Горовой**

Повышение энергоэффективности насосных установок нефтеперерабатывающей отрасли

В статье рассматриваются вопросы повышения энергоэффективности электропривода насосной установки. Целью работы является определение целесообразности использования частотно-регулируемого электропривода для управления насосной установкой. В связи с растущими требованиями к энергоэффективности электрооборудования, представляют интерес вопросы оптимизации потребления энергоресурсов в ходе технологического процесса. В работе выполняется построение основных характеристик насосной установки, а также рассчитываются параметры энергопотребления. Расчетные данные, с учетом особенностей используемой методики, являются корректными. В результате работы определена низкая эффективность эксплуатации объекта исследования и представлен алгоритм определения целесообразности применения частотного электропривода.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, нефтепереработка, вентильный электропривод, дросселирование потока, центробежный насос.

**О. А. Лысенко, А. В. Симаков, М. А. Кузнецова, А. В. Никонов**

Расчет механической характеристики асинхронного погружного электродвигателя методом конечных элементов

В статье рассматриваются вопросы определения параметров электрических машин переменного тока из состава электропривода установки электроцентробежного насоса. Целью работы является построение механической характеристики объекта исследования, асинхронного погружного электродвигателя, с помощью современного программного обеспечения. В связи с растущими требованиями к энергоэффективности, в том числе и в области нефтедобычи, представляют интерес вопросы применения современных пакетов прикладных программ для точного определения параметров электромеханического преобразователя. В ходе работы выполняется построение зависимостей момента асинхронной машины от скорости вращения на основе аналитических зависимостей и математического моделирования методом конечных элементов. Данные моделирования, с учетом погрешности и принятых допущений, являются корректными. Результатом работы является методика, позволяющая осуществлять корректное построение механических характеристик асинхронных электрических машин с короткозамкнутым ротором на основе моделирования в программе Elcut 6.2.

**Ключевые слова:** механическая характеристика, электропривод, погружной электродвигатель, математическая модель, метод конечных элементов.

**А. Г. Люгаревич, М. А. Басмановский, В. П. Сержанский, Е. П. Жиленко**

Исследование молниезащиты открытых распределительных устройств электрических станций и подстанций

Развитие методов и алгоритмов расчета элементов защиты объектов энергетики всегда остается одной из важных научно-технических проблем. Актуальным остается как разработка новых технических решений, так и совершенствование нормативно правовой базы. Указанные тенденции справедливы и для молниезащиты электрических станций и подстанций. Целью данного исследования является обзор существующих методик определения параметров и элементов молниезащиты на примере расчета типовой подстанции. В результате проведенного исследования рассмотрены методики проектирования и определения эффективности молниезащиты электрических станций

и подстанций. Представлены результаты расчёта молниезащиты открытого распределительного устройства трансформаторной подстанции 110/10 кВ. Результаты исследования могут применяться для разработки алгоритмов определения параметров молниезащиты, а также программного обеспечения для автоматизированного расчёта защиты открытых распределительных устройств электрических станций и подстанций от прямых ударов молнии.

**Ключевые слова:** зона защиты молниеотвода, методики расчёта молниезащиты, расчёт молниезащиты распределительного устройства.

**А. Г. Михайлов, О. В. Вдовин, Е. Н. Слободина**

Интенсификация теплообмена в жаротрубном котле при использовании наножидкости в качестве теплоносителя

В статье предложено решение проблем, связанных с интенсификацией теплопереноса со стороны высокотемпературного органического теплоносителя за счет использования наночастиц. Представлено критериальное уравнение, характеризующее теплообмен в объеме высокотемпературного органического теплоносителя при естественной конвекции для чистой и нано- жидкостей. Рассмотрены основные уравнения для теплового расчета жаротрубного котла. По результатам расчетного эксперимента построены графики зависимости коэффициента теплоотдачи со стороны жидкостного теплоносителя и топки котла, температуры стенки топки котла, коэффициента теплопередачи для газотрубного пучка, площади конвективного газотрубного пучка от объемной доли наночастиц в теплоносителе.

**Ключевые слова:** высокотемпературный теплоноситель, жаротрубный котел, наножидкость, температура стенки, коэффициент теплоотдачи.

**Д. С. Осипов**

Разработка критерия выбора оптимального типа материнского вейвлета в задаче расчета активной и реактивной мощности систем электроснабжения

В работе представлена методика расчета активной и реактивной мощности отдельных высших гармоник с помощью вейвлет преобразования. Данный расчет позволит повысить точность технико-экономической оценки внедрения фильтрокомпенсирующих устройств при решении актуальной проблемы подавления гармоник и сокращения потерь в токоведущих частях. Разработан критерий для выбора оптимального типа вейвлета в задачах расчета и моделирования несинусоидальных режимов систем электроснабжения. Критерий основан на определении локальной энергетической плотности исследуемой гармонической группы и на возможности провести обратное вейвлет преобразование (реконструкцию сигнала) с наименьшей погрешностью.

**Ключевые слова:** вейвлет преобразование, несинусоидальные режимы, высшие гармоники, энергия спектра, амплитудно-частотная характеристика вейвлета.

**Д. С. Осипов, Н. Н. Долгих, С. А. Горовой, В. Е. Поплавская**

Анализ дополнительных потерь от высших гармоник в сетях 380 В с помощью алгоритмов пакетного вейвлет преобразования

В работе представлена методика анализа нестационарных несинусоидальных режимов систем электроснабжения на основе пакетного вейвлет преобразования. Вейвлет преобразование, в отличие от оконного преобразования Фурье, позволяет производить анализ высших гармоник в трехмерной плоскости (амплитуда, частота, время). Отсутствие необходимости выбора ширины окна при реализации вейвлет преобразования позволяет избежать негативного эффекта растекания спектра. Применение вейвлет преобразования для расчета высших гармоник позволит повысить точность оценки дополнительных потерь в системах электроснабжения и разработать мероприятия по повышению энергоэффективности электроустановки.

**Ключевые слова:** вейвлет преобразование, несинусоидальные режимы, высшие гармоники, преобразование Фурье, несимметричная нагрузка фаз, светодиодное освещение.

**П. В. Рысев, Д. В. Рысев, К. С. Шульга, О. В. Мешалкин**

Определение резонансных частот электромеханических колебаний агрегатов газотурбинных электростанций

В статье рассматривается проблема возникновения электромеханических резонансных взаимодействий в турбогенераторах газотурбинных электростанций автономных энергосистем нефтегазовых месторождений, приводящих к крутильным колебаниям валопроводов. Оценивается опасность данного явления. Рассматриваются две расчетные схемы для моделирования резонанса. Определяются собственные частоты для каждой из расчетных схем, сопоставляются с данными реальных аварий, оцениваются тренды изменения собственных частот в зависимости от мощности и массивности турбоагрегатов. Обосновывается опасность возникновения таких режимов, а также необходимость разработки специальных мероприятий, направленных на недопущение и ликвидацию режимов электромеханического резонанса.

**Ключевые слова:** электромеханический резонанс, крутильные колебания, газотурбинная электростанция, электроэнергетическая система.

**А. А. Татевосян**

Выбор оптимальной конструкции, экспериментальное исследование и математическое моделирование магнитного поля низкооборотного синхронного генератора на постоянных магнитах

Повышенный научный и практический интерес к разработке, проектированию, исследованию и внедрению низкооборотных синхронных генераторов на постоянных магнитах вызван необходимостью оснащения и наполнения различных отраслей народного хозяйства эффективными возобновляемыми источниками энергии, основанными на принципах работы ветро-, гидро- и пневмоэнергетики. Толчком творческому мышлению отечественной и зарубежной науки по созданию и внедрению в производство и быт новых видов конструкций магнитоэлектрических машин с возбуждением от постоянных магнитов послужило появление на потребительском рынке широкого ассортимента доступных к использованию высококоэрцитивных постоянных магнитов на основе редкоземельных элементов из сплава неодим-железо-бор (NdFeB). В данной работе предложена конструкция

низкооборотного синхронного генератора на постоянных магнитах, учитывающая в полной мере список требований, предъявляемых к возобновляемым источникам энергии, накопленным практическим опытом создания таких электромеханических преобразователей. Наряду с описанием геометрии в статье приведены результаты математического моделирования магнитного поля низкооборотного синхронного генератора с использованием пакета ANSYS (Maxwell), подтвержденные экспериментальными исследованиями опытного образца.

**Ключевые слова:** конструкция опытного образца низкооборотного синхронного генератора, подковообразные электромагниты с П-образным сердечником и катушками, высококоэрцитивные постоянные магниты в форме дисков, моделирование магнитного поля, режим холостого хода и короткого замыкания синхронного генератора.

**А. С. Татевосян, В. В. Педдер, Н. Д. Буряков, И. А. Пастушенко**

Экспериментальная методика идентификации высококоэрцитивных постоянных магнитов

Разработан стенд и предложена методика идентификации опытной партии высококоэрцитивных постоянных магнитов (ВкПМ), изготовленных из одной и той же марки сплава неодим-железо-бор (NdFeB). Испытуемые образцы из опытной партии ВкПМ имеют форму диска, прямоугольной призмы и аксиальное направление намагничивания. Критерием идентификации ВкПМ в каждой опытной партии является их одинаковая объемная намагниченность, которая учитывается среднеквадратичным отклонением построенных экспериментальных кривых зависимостей электромагнитной силы взаимодействия каждого испытуемого образца постоянного магнита из опытной партии с магнитным отражателем при изменении расстояния между ними. В качестве магнитного отражателя используется более мощный постоянный магнит, имеющий форму диска и высоту, превышающую высоту испытуемого образца постоянного магнита. Пренебрежение процедурой идентификации ВкПМ из опытной партии ведет к нарушению работы электромагнитных систем с их участием, так например при разработке индукторов синхронных электрических машин на основе постоянных магнитов наблюдаются биения вала, повышенные вибрации рабочих органов, увеличение радиальной и осевой нагрузки на подшипники, сокращается срок службы и происходит отказ работы электрических машин в период эксплуатации.

**Ключевые слова:** высококоэрцитивные постоянные магниты, сплав неодим-железо-бор, опытный образец в форме диска и прямоугольной призмы, экспериментальный стенд, электромагнитная сила.

**Д. Г. Сафонов**

Имитационное моделирование функционирования распределительной сети с дугогасящим реактором

В статье представлена имитационная модель трехфазной распределительной сети с компенсированной нейтралью совместно с системой управления дугогасящим реактором. В основе работы системы управления используется принцип создания искусственного смещения нейтрали и последующей настройки реактора по экстремуму кривой напряжения нулевой последовательности.

Помимо параметров сети в модели можно изменять величину и характер нагрузки, что позволит проверить работоспособность системы управления дугогасящим реактором при возникновении однофазного замыкания на землю.

**Ключевые слова:** дугогасящий реактор, компенсированная нейтраль, система управления, распределительная сеть, напряжение нулевой последовательности.

**Д. В. Коваленко, Е. А. Пугачева, Д. А. Рогозина, А. Е. Фридрих**

Обзор современных исследований по идентификации резонансных режимов, возникающих в элементах электрических сетей промышленных предприятий и коммунально-бытового сектора

Авторами произведен обзор литературных работ, посвященных выявлению потенциальных резонансных режимов, которые могут возникнуть в сетях промышленных предприятий и непромышленной нагрузки. В некоторых случаях исследовательскими коллективами были представлены способы по недопущению выполнения резонансных условий. Рассмотрено возникновение и влияние резонансных перенапряжений на конструктивные элементы электрических машин и предложены технические решения по диагностике машин, а также представлены способы по повышению точности идентификации внутренних резонансных частот, вблизи которых будут возникать перенапряжения.

**Ключевые слова:** резонансный режим, резонансные перенапряжения, анализ и идентификация резонансных режимов.

**Д. В. Коваленко, П. С. Смирнов, Д. В. Дубровский, М. С. Матвеева, Н. В. Рубанов**

Измерение показателей качества электрической энергии в сети компьютерного класса и разработка мероприятий по фильтрации высших гармоник

В работе произведено измерение показателей качества электрической энергии (ПКЭ) системы электроснабжения компьютерного класса одного из учебных заведений города Омска с применением анализаторов качества электрической энергии. В состав каждого персонального компьютера входит импульсный источник питания, являющийся источником высших гармоник. Они нарушают нормы ПКЭ, установленные ГОСТ 32144–2013. Для исключения влияния высших гармоник на элементы питающей сети и недопущения возникновения резонансных режимов авторами статьи был предложен расчет параметров и установка пассивных фильтров в исследуемую сеть. Выполненное математическое моделирование в программном комплексе MATLAB-Simulink подтвердило авторскую гипотезу об эффективности использования фильтров.

**Ключевые слова:** показатели качества электрической энергии, несинусоидальный режим, резонансный режим, фильтрация высших гармоник.

**Г. А. Кошук, Б. А. Косарев, В. К. Федоров**

Выбор оптимального напряжения источника энергии для системы электроснабжения с распределенной генерацией

Статья посвящена проектированию электротехнических систем с распределенной генерацией, а именно, выбору оптимальных напряжений для систем питания и распределения электрической энергии, поскольку использование оптимальных напряжений минимизирует затраты на эксплуатацию и сооружение систем. Целью работы является разработка алгоритма и программы расчета оптимальных напряжений электротехнических систем с распределенной генерацией. Алгоритм реализован в системе конструкторского проектирования MathCAD. По результатам расчета программы можно сделать вывод, что полученные значения оптимальных напряжений для систем питания и распределения



электрической энергии соответствуют справочным данным и могут быть использованы при проектировании электротехнических систем с распределенной генерацией.

**Ключевые слова:** распределенная генерация, оптимальное напряжение, электротехническая система, микросеть, источник энергии, электроустановка, технология генерации.

**Д. Ю. Руди, А. И. Антонов, М. Г. Вишнягов, С. В. Горелов, Д. А. Зубанов, А. А. Руппель, Е. Ю. Руппель**

Исследование высших гармоник в электрических сетях низкого напряжения

В статье описано проведенное исследование на комплектной трансформаторной подстанции (КТП-2) 10/0,4 кВ. Описан способ обработки результатов исследований, полученных в ходе проведения эксперимента. Все показатели суммарных коэффициентов гармонической составляющей напряжения обработаны средствами программного продукта в среде разработки LabVIEW. Выполнен анализ соответствия данного показателя качества электрической энергии на каждой фазе требованиям ГОСТ 32144–2013.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, суммарный коэффициент гармонической составляющей, гармоники, электромагнитная помеха.

**И. В. Присухина, Д. В. Борисенко**

Машинная классификация режима работы электрической рельсовой цепи методом опорных векторов

Эффективность систем мониторинга электрических рельсовых цепей на железнодорожном транспорте может быть существенно повышена за счет реализации функций автоматического анализа собираемой информации. В рамках реализации этих функций ранее мы предложили автоматизировать классификацию состояния электрической рельсовой цепи на основе логистической регрессии. Однако, такой классификатор обладает рядом ограничений. В этой статье мы предлагаем более совершенный алгоритм классификации, построенный на основе метода опорных векторов. В статье представлена теоретическая база алгоритма, продемонстрирована его работа на синтезированных данных. Также, показано, что применение Гауссовского ядра позволяет уменьшить размерность пространства признаков при сохранении качества классификации состояния электрической рельсовой цепи.

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика, электрическая рельсовая цепь, машинное обучение, классификация, логистическая регрессия, метод опорных векторов.

**Н. А. Терещенко, К. И. Никитин, С. С. Маковецкий, Е. П. Жиленко**

Расчет добавочного сопротивления и конструкции датчика тока утечки высоковольтного изолятора

В статье представлены результаты лабораторных испытаний, проводимых для определения порядка тока утечки с целью расчета сопротивления изоляции без отключения напряжения. Выбраны материалы для создания дополнительного сопротивления. Рассчитаны статическая и динамическая нагрузки на конструкцию. Определено сечение стержня резистора.

**Ключевые слова:** ток утечки, изоляторы, переменное напряжение, добавочное сопротивление.

**В. А. Ткаченко, О. В. Кропотин, А. О. Шепелев, В. О. Кропотин**

Математическая модель кабельной линии электропередачи с изоляцией из сшитого полиэтилена при подземной прокладке

В настоящей статье рассматривается математическое моделирование стационарного теплового поля в сечении одножильного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена. Для моделирования составлена схема замещения тепловых процессов, выполненная с помощью метода однородных тел. Схема замещения учитывает диэлектрические потери, температуру окружающей среды, а также температурную зависимость активного сопротивления жилы кабеля. Оценка адекватности разработанной математической модели выполнена путём сравнения полученных результатов с результатами расчёта тепловых и электрических процессов методом конечных элементов с помощью программного обеспечения «ANSYS Workbench». Полученная математическая модель может быть использована для контроля пропускной способности кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена и ограничения их срока службы из-за температурного старения изоляции.

**Ключевые слова:** кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, тепловая схема замещения, тепловое сопротивление.

**А. А. Бубенчиков, Т. В. Бубенчикова, Е. Ю. Шепелева**

Анализ зарубежного опыта исследования систем генерации ветроэнергетических установок

В работе представлен краткий анализ вариантов конфигурации цепей преобразования энергии современных ветроэнергетических установок. Рассмотрены характерные типы генераторных систем для ВЭУ и проанализированы плюсы и минусы использования различных типов электрических машин в качестве генерирующих устройств ВЭУ. Определен вектор развития ВЭУ в части выбора типа генераторной системы. В статье описаны предлагаемые будущие системы генерации и перечислены их достоинства и недостатки по сравнению с используемыми в настоящее время генераторными системами.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, система генерации, генератор, редуктор.

**К. В. Кенден, К. Б. Сагаан-оол, Ю. Ч. Ондар**

Проблемы и перспективы развития энергетического комплекса республики Тыва

Отсутствие собственных генерирующих мощностей – основной сдерживающий фактор для социально-экономического развития любого региона. К таким регионам относится и республика Тыва, электроснабжение которой полностью зависит от Красноярской и Хакаской энергосистем. В статье выполнен анализ энергетического комплекса республики Тыва, на основе которого выявлены особенности и проблемы функционирования электроэнергетического комплекса Тывы. Представлены возможные варианты покрытия энергодефицита региона.

**Ключевые слова:** энергосистема, Тыва, энергодефицит, износ, электроснабжение потребителей.

**И. С. Лебедев, А. А. Бубенчиков, А. А. Захаров, Т. В. Бубенчикова**

Разработка энергогенерирующего участка автономных ветровых энергетических систем для регионов рекоонтинентального климата с малым ветровым давлением

В данной статье рассмотрен вариант проектирования энергогенерирующего участка многоярусного типа ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения, создание которой даёт возможность получения наибольших значений КПД относительно известных аналогов с размещением в областях нестабильно-низкого ветрового давления. Рассмотрены результаты математического моделирования и принципа действия ярусов элементов энергогенерирующего участка с вертикальной осью вращения как в отдельности, так и в совокупности друг с другом, образуя законченное исполнение. Предложено создание пятиканального конфузорного яруса концентрирования и переориентации воздушного потока, перемещающегося по траектории 3-х мерной логарифмической спирали. Спроектирована основная и добавочная зоны ускорения с размещением узла отбора мощности и зона рассеивания отработавшего воздушного потока. Определены суммарные величины средних коэффициентов ускорения воздушного потока, проходящего через энергогенерирующий участок при различной скорости набегающего потока. Проанализированный вариант конструкции не требует ориентации по ветру и обладает возможностями стабилизации набегающего воздушного потока.

**Ключевые слова:** конфузор, концентратор, ускорение воздушного потока, рассеивание воздушного потока, ветроэнергетические установки с вертикальной осью вращения, энергогенерирующий участок.

#### **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

**А. А. Кузнецов, А. С. Брюхова**

Определение количественного содержания продуктов коррозии на поверхности железобетонных изделий

В статье рассматриваются процессы возникновения коррозии в железобетонных опорах контактной сети и описаны реакции, сопровождающие коррозию стальной арматуры. Описан эксперимент электрохимической коррозии, изготовленных образцов с различной степенью коррозии стальной арматуры. Проведен спектральный анализ для определения количественного содержания продуктов коррозии на поверхности бетона. Результаты анализа подтвердили зависимость концентрации продуктов коррозии на поверхности бетона с выносом металла из объема стальной арматуры. Получена градуировочная зависимость определения железа на поверхности бетона. Сделаны выводы о возможности применения мобильных спектроанализаторов совместно с представленной методикой.

**Ключевые слова:** железобетонные опоры контактной сети, продукты коррозии, поверхность образцов, диагностирование коррозионного состояния, градуировочная зависимость, спектральный анализ.

**А. И. Блесман, Р. Б. Бурлаков**

Способ изготовления фотоэлемента, основанного на двух контактах Al-p-Si и Ti-p-Si с барьером Шоттки

Задачей исследований является разработка структуры и способа изготовления фотоэлемента, способного принимать излучение либо в ближней инфракрасной области спектра (1–1,4)

мкм, либо в области (0,5–1,4) мкм. Рассмотрены способ изготовления и результаты исследования фотоэлектрических характеристик двухспектрального фотоэлемента, основанного на двух контактах с барьером Шоттки Al-*p*-Si и Ti-*p*-Si, расположенных на противоположных сторонах Si пластины. Показано, что удаление нарушенного слоя на поверхности кремниевой пластины ведет к значительному увеличению напряжения холостого хода и тока короткого замыкания контакта Al-*p*-Si, расположенного на этой поверхности и освещаемого через кремниевую пластину.

**Ключевые слова:** способ изготовления фотоэлемента, кремний *p*-типа, контакты с барьером Шоттки.

### **Р. Б. Бурлаков**

Измерение удельного сопротивления силицидных омических контактов к кремнию *p*-типа методом линии передачи

Рассмотрен способ определения удельного контактного сопротивления  $\rho_K$  методом линии передачи. Этот способ использован на изготовленных и измеренных силицидных омических контактах к кремнию *p*-типа (с номинальным удельным сопротивлением  $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ) на основе систем PtAg, PdAg и NiAg. Показано, что система PtAg имеет наиболее низкие значения  $\rho_K = (5,5 - 5,6) \cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$ .

**Ключевые слова:** измерение удельного контактного сопротивления, TLM-метод, кремний *p*-типа, силицидные омические контакты.

### **В. Ф. Ковалевский, С. Б. Скобелев**

Экспериментальные исследования применения электрогидравлического эффекта Л. А. Юткина для удаления облоя с выводов пластмассовых деталей

В статье представлено описание электрогидравлического эффекта Л. А. Юткина. Приведена электрическая схема лабораторной установки для очистки выводов пластмассовых деталей, а также конструкция опытной установки и сменных приспособлений, применяемых для снятия облоя с выводов пластмассовых деталей. Представлены результаты экспериментальных исследований по предварительной и окончательной очистке выводов пластмассовых деталей от облоя. Для полного снятия толстого облоя с поверхности вывода и из отверстий затрачено от 3 до 5 секунд на деталь. Полное удаление плёнки облоя на выводе детали производится за 10–20 секунд.

**Ключевые слова:** выводы пластмассовых деталей, электрогидравлический эффект, облой, искровой разряд, наклеп.

### **О. В. Кривоzubов, Ю. Г. Кряжев, И. В. Анисеева, Н. А. Давлеткильдеев, Д. В. Соколов, В. А. Лихолобов**

Формирование наноструктурированных слоев углерода на кремниевой подложке при использовании поливинилхлорида в качестве прекурсора углерода

Получены углеродные слои путем низкотемпературного (200–400°C) термического превращения поливиниленов, нанесенных на кремниевые подложки методом spin-coating. Поливинилены получали дегидрохлорированием поливинилхлорида анилином в среде диметилсульфоксида. Для введения металла в состав углеродного слоя дегидрохлорирование полимера осуществляли в присутствии  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ . Методом атомно-силовой микроскопии

исследованы морфологические особенности структуры сформированных слоев. Установлено, что углеродные слои без добавок металла являются макропористыми со сквозными порами субмикронных размеров. В присутствии железа образуются сплошные углеродные слои с металлсодержащими наночастицами, встроенными в углеродную матрицу. Полученные данные могут быть использованы при совершенствовании элементной базы устройств микроэлектроники.

**Ключевые слова:** наноструктурированные углеродные слои, поливинилхлорид, карбонизация поливиниленов, метод spin-coating, атомно-силовая микроскопия.

**Я. В. Крюков, А. Я. Демидов, Д. А. Покаместов, Е. В. Рогожников, Р. Р. Абенов**

Метод множественного доступа с разделением каналов по мощности

В статье рассмотрен метод неортогонального множественного доступа с разделением пользовательских каналов по мощности PD-NOMA для многоканальных систем связи беспроводного широкополосного доступа. Приведено сравнение характеристик пропускной способности и помехоустойчивости каналов связи PD-NOMA и OFDMA, полученных в результате расчета и математического моделирования. Рассмотрен метод последовательного подавления помех SIC, который применяется для демодуляции PD-NOMA сигнала. Продемонстрирована эффективность метода PD-NOMA и объясняется целесообразность его использования на физическом уровне беспроводных систем связи широкополосного доступа.

**Ключевые слова:** неортогональный множественный доступ, уплотнение каналов, широкополосный беспроводной доступ, помехоустойчивость, пропускная способность.

**Е. В. Леун**

Вопросы построения струйнокапельных оптических измерительных систем: принцип и режимы работы, возможности и основные характеристики

Статья посвящена оптическим измерительным системам, использующими в качестве оптических элементов три типа гидротоков: немодулированной струи и двух частей модулированной струи в режиме вынужденного капиллярного распада: нераспавшейся части струи и капельного потока. Проведена классификация струйнокапельных оптических измерительных систем (СКОИС), представлены схемы для измерения смещений изделия и неровности его поверхности, реализующие гидроструйный интерференционный способ измерения линейных размеров изделий и т.н. капельный микроскоп. Рассмотрены вопросы передачи света и управления параметрами гидротоков.

**Ключевые слова:** струя, капля, размер изделия, поверхность изделия, оптические измерения, интерферометр, микроскоп.

**Г. В. Никонова**

Метрологическая надежность автоматизированных систем контроля и диагностики изделий электронной техники УВЧ диапазона

В материале статьи отражены результаты анализа и даны рекомендации по обеспечению достоверности результатов испытаний БИС и СБИС УВЧ диапазона в автоматизированных системах контроля и диагностики. В статье показано решение задач метрологической аттестации каналов испытательной системы при формировании тестовых воздействий

заданной амплитуды, синхронизированных с сигналом опорного канала. Даны рекомендации по обеспечению метрологической надежности при измерении амплитудных и временных параметров сигналов-откликов от объекта испытаний. Приведена методика оценки требований к поверочной аппаратуре по амплитудным и временным параметрам. Приведены типы конкретных средств измерений, позволяющих обеспечить достоверность испытаний изделий электронной техники УВЧ диапазона.

**Ключевые слова:** УВЧ диапазон, изделия электронной техники, тестовый импульсный сигнал, погрешность установки амплитуды, погрешность синхронизации.

**А. Е. Самогуга, Р. А. Ахмеджанов, А. А. Федотов, А. А. Пятков**

Полная модель колебаний трубопровода при ударном воздействии

Актуальной задачей является получение экспериментальных данных о колебаниях трубопровода для оценки эффективности виброакустических способов контроля его состояния, при этом доступ к объекту зачастую затруднен. В работе представлена усовершенствованная модель, на основе которой предложено рассчитывать упругие колебания, фиксируемые на поверхности трубопровода в результате ударного воздействия. Проведена оценка адекватности полученного аналитического выражения путем сравнения расчетного сигнала с эмпирическим.

**Ключевые слова:** упругие колебания, поперечные колебания трубопровода, ударное воздействие, полная модель колебаний трубопровода.

**А. Е. Самогуга, А. А. Федотов, Р. А. Ахмеджанов, А. А. Пятков**

Оценка адекватности моделей колебаний трубопровода при ударном воздействии

В работе представлены два аналитических выражения для моделирования колебаний трубопровода в результате ударного воздействия, позволяющие тестировать алгоритмы обработки виброакустических сигналов для обнаружения несанкционированных подключений. Реализован расчет и оценка адекватности моделей сравнением форм импульсов и их амплитудно-частотного спектра с экспериментальными, полученными на пятиметровой трубе и действующем трубопроводе протяженностью 200 м. Модель, обозначенная в работе как «полная», показала наиболее достоверные результаты при расчете колебаний как макета трубы, так и протяженного действующего трубопровода с наложением помехи.

**Ключевые слова:** модель колебаний трубы, поперечные колебания трубопровода, несанкционированное воздействие на трубопровод, упругие колебания.

## **ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**Г. Н. Бояркин, К. В. Кравченко, О. Г. Шевелева**

Системный подход в планировании и управлении бизнес-процессами подготовки кадров высшей квалификации

В данной статье рассмотрена проблема повышения эффективности обучения в аспирантуре путем решения оптимизационной задачи распределения поступающих по научным руководителям с учетом потенциалов участников процесса обучения. Построена модель декомпозиции бизнес-процессов подготовки кадров высшей квалификации, определены

потенциалы поступающего и научного руководителя, разработана математическая модель оптимизационной задачи распределения поступающих по научным руководителям, предложены требования к программной реализации данной задачи. В работе предложено логическое описание модели распределения поступающих по научным руководителям и структуры ее математического описания.

**Ключевые слова:** бизнес-процесс, оптимальное распределение, метод анализа иерархий, потенциал участника процесса обучения, математическое моделирование.

**А. А. Магазев, А. С. Мельникова**

Построение области безопасности информационной системы методом динамики средних

В работе рассматривается модель информационной системы, каждый элемент которой подвергается пуассоновским потокам угроз безопасности. С помощью теории марковских процессов описывается усредненная динамика системы. Конструируется область значений внутренних параметров модели, при которых число вышедших из строя элементов не превысит заданный порог за определенное время.

**Ключевые слова:** марковский процесс, пуассоновский поток, метод динамики средних, область безопасности.

**В. Г. Хомченко, И. М. Зуга, А. Н. Кужель, А. О. Строев**

Исследование качественных показателей методов трассировки на основе волнового алгоритма и алгоритма  $A^*$  применительно к промышленным предприятиям

На примере двух характерных расположений объектов промышленных предприятий и использования окрестностей фон Неймана и Мура для волнового алгоритма и алгоритма  $A^*$  проведен анализ влияния методов трассировки и размера дискретного рабочего поля на процент его охвата, на расположение трасс и на затраты времени вычислений. Установлено, в частности, что на траекторию расположения трасс влияет не только метод их синтеза, но, в некоторых случаях, и принятый размер сетки дискретного рабочего поля. Выявлена зависимость времени вычислений от размера сетки. Приведены диаграммы длин трасс, полученных при различных методах трассировки и размерах сетки.

Вычислительные эксперименты проводились на дискретном рабочем поле с размерами сетки 40, 20, 10, 5, 2 и 1 пиксель.

**Ключевые слова:** волновой алгоритм, алгоритм  $A^*$ , окрестность фон Неймана, окрестность Мура, расположение трасс, время трассирования

**А. А. Лаврухин, А. В. Кочекон, Ю. А. Безруков, Л. А. Денисова**

Анализ методов оценки амплитуды сигнала при определении параметров качества электроэнергии

В статье приведены результаты модельных исследований методов контроля качества электрической энергии (применительно к тяговой подстанции) в процессе ее преобразования, распределения и питания тяговых и нетяговых потребителей. Для выявления наиболее точного метода определения амплитуды сигнала произведено сравнение алгоритмов, основанных на стандартном преобразовании Фурье и вейвлет-анализе с постоянной и адаптивной шириной окна вейвлета. Рассмотрены перспективы использования алгоритмов для контроля качества электрической энергии при наличии

перенапряжения, провала напряжения и быстро меняющегося уровня напряжения. Исследования выполнялись методом математического моделирования с использованием интерактивной среды для научных и инженерных расчетов MATLAB. Проведенные опыты отражают перспективы использования вейвлет-анализа для оценки амплитуды сигнала.

**Ключевые слова:** адаптивный вейвлет анализ, параметры качества энергии, компьютерное моделирование, моделирование электрического сигнала, оценка параметров электрической энергии, моделирование MATLAB.

### **И. В. Ревина, Г. Н. Бояркин**

Имитационное моделирование производственного процесса изготовления деталей

Организация производственного процесса изготовления деталей может быть многовариантной. Используя параметры оптимизации – максимально возможное количество изготовления годных деталей и максимальная загрузка оборудования (т.е. получение максимальной прибыли), а также ограничения – процент брака, возможность повторной обработки деталей в системе имитационного моделирования Arena Rockwell Soft были разработаны различные модели, позволившие выявить «узкие места» в организации производственного процесса. Рассмотрение моделей позволило оценить: загруженность станков, выпуска годных деталей, среднюю продолжительность пребывания деталей в производственном процессе, среднее число деталей в очереди, прибыль и убытки при реализации производственного процесса. В результате моделирования показано, что наиболее оптимальной формой организации производственного процесса является двухпредметная поточная линия.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, производственная система, имитационная модель, изготовление деталей, организация производства

### **А. Н. Флоренсов**

О расширении понятия информации современными средствами информатики

Проведен анализ понятия информация с учетом последних достижений в теоретической информатике. Показано, что сложившееся для технических наук определение, базирующееся на отображении интерпретации сообщений в информацию, не укладывается в классические представления математики, формализовано рассматривающих только статические множества. В информатике действующие множества сообщений и множества образов интерпретации оказываются динамическими совокупностями состояний объектов. Информационный аспект связей элементов оказывается принципиально динамическим и сам характер изменения множества интерпретируемых сообщений и образов интерпретации составляет существо получения и обработки информации.

**Ключевые слова:** информация, сообщение, интерпретация, отображение, динамические множества.

### **Г. Д. Анисимова, А. В. Мышлявцев, М. Д. Мышлявцева**

Связь критических явлений в механизме Ленгмюра-Хиншельвуда с типом фазовой диаграммы адсорбционного слоя: квадратная решетка, аддитивные смеси

Было изучено влияние латеральных взаимодействий на область множественности механизма Ленгмюра-Хиншельвуда для некоторых наборов энергий латеральных взаимодействий на



квадратной решетке. Наборы латеральных взаимодействий выбирались таким образом, чтобы полностью охватить неизученные ранее области параметров. Целью работы является завершение изучения построенной модели для аддитивных смесей. В отличие от предшествующих работ в явном виде учитывалось разбиение пространства параметров на области с различной фазовой диаграммой основного состояния. Для упрощения анализа рассматривался случай необратимой адсорбции по обоим компонентам. Показано, что когда рассматриваемая система имеет два внутренних стационарных состояния, то она, тем не менее, может иметь различные фазовые диаграммы.

**Ключевые слова:** математическое моделирование адсорбции и реакции, модель решеточного газа, механизм Ленгмюра-Хиншельвуда, критические явления.

### **Е. О. Викулов**

Исследование распределения данных высоконагруженных веб-приложений с применением нейросетевых технологий

В статье предложен подход к оптимизации распределения данных при проектировании высоконагруженных веб-приложений. Разработана модель, описывающая состояния серверных станций на текущий момент времени, пригодная для осуществления последующей оптимизации распределения данных. Проведен эксперимент по распределению тестовой выборки данных с применением нейросетевых технологий, в частности, с использованием сетей Кохонена; приведены результаты распределения данных по серверным станциям. На основании результатов эксперимента сделаны выводы о возможности применения сетей Кохонена при распределении данных высоконагруженных веб-приложений

**Ключевые слова:** распределение данных, высоконагруженные веб-приложения, сервер-балансир нейросетевые технологии, сеть Кохонена, кластеризация.

### **П. С. Мачулин**

Исследование вариантов управления синхронным бесколлекторным двигателем посредством математического моделирования

Представлены результаты математического моделирования синхронного бесколлекторного маломощного электродвигателя при различных алгоритмах управления, позволяющие анализировать переходные процессы и характер установившегося движения двигателя при разных вариантах управления, что даёт возможность выбирать метод управления им на начальном этапе разработки. Моделирование выполнялось при различных моментах инерции ведомой части устройства и различной величине и характере изменения внешней нагрузки.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, электродвигатель, система управления, синхронный двигатель, датчик положения ротора.

### **П. С. Мачулин, П. В. Попов**

Особенности системы управления электропривода, применяемого в электромеханических устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей

В статье рассматриваются особенности автоматизированной системы управления электродвигателя, применяемого в электромеханических устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн, предназначенных для работы в агрессивных

условиях окружающей среды, в том числе в условиях вакуума. Применение электропривода в таких устройствах накладывает ряд ограничений на систему управления, конструкцию и принцип действия электропривода для обеспечения необходимой надёжности и полноценного выполнения задачи устройством.

**Ключевые слова:** электродвигатель, автоматическая система управления, ограничение максимального момента, электромеханические устройства, резервирование.

**Н. Р. Стороженко, А. И. Голева**

Математическая модель и алгоритм мониторинга параметров информационной системы

В целях проведения диагностики и прогнозирования возможных отклонений в работе узлов информационной системы в статье приводится математическое и алгоритмическое описание мониторинга сетевых параметров. Разработанная схема и алгоритм обнаружения неисправностей и прогнозирования отказов сети дают наглядное представление о процессе мониторинга и обнаружения аномалий и необходимы для исполнения программного комплекса системы мониторинга с функциями контроля и диагностики оборудования, а также возможностью прогнозирования и наблюдения за состоянием сети в условиях изменения параметров сетевых устройств.

**Ключевые слова:** алгоритм мониторинга, корпоративная сеть передачи данных, математическая модель, мониторинг неисправностей, обнаружение аномалий, прогнозирование отказа.

**А. Л. Ткаченко, О. Г. Шевелева**

Повышение эффективности работы отдела программных разработок ИТ-компании

В статье рассматривается проблема повышения эффективности деятельности ИТ-компании. В рамках процессного подхода с помощью метода реинжиниринга был построен и проанализирован бизнес-процесс ИТ-компании по выполнению технических заданий. Рассмотрена оптимизация методом математического моделирования распределения рабочих процессов как один из методов повышения эффективности деятельности ИТ-компании.

**Ключевые слова:** бизнес-процесс, эффективность бизнес-процесса, реинжиниринг, оптимизация рабочих процессов, целевое программирование.

**М. Н. Юдина**

Комплекс программных библиотек для анализа молекулярных сетей клетки

Предлагается комплекс программных библиотек, предназначенный для анализа молекулярных сетей клетки. В работе рассматриваются возможности разработанного комплекса для исследования сетей белковых взаимодействий и генных сетей. Описываются решаемые программным комплексом задачи и характеризуются оригинальные алгоритмы, реализованные в разработанном комплексе программных библиотек.

**Ключевые слова:** молекулярные сети клетки, пакеты программ для исследования сетей, структурные характеристики больших сетей, значимые типовые подграфы, случайные графы с нелинейным правилом предпочтительного связывания, ускоренные алгоритмы и численные методы.

**А. В. Зыкина, М. Ю. Савельев, Т. Ю. Финк**

Многоуровневое управление нефтеперерабатывающим производством. Требования к задачам исследования

Проблема автоматизации систем управления предприятием особенно актуальна для крупных нефтеперерабатывающих производств. Однако построение системы оптимального управления нефтеперерабатывающим заводом на базе его интегральной модели оказывается практически невозможным из-за огромной размерности последней и необходимости учета возмущений, характеризующихся высокой степенью неопределенности и частотой изменения. Поэтому одним из важных принципов, которым в настоящее время руководствуются при построении интегрированных автоматизированных систем управления предприятием, является принцип иерархичности. В данной статье определены требования к задачам исследования для реализации теоретических разработок в виде математического обеспечения многоуровневых интегрированных систем управления нефтеперерабатывающим производством.

**Ключевые слова:** нефтеперерабатывающее производство, многоуровневая интегрированная система управления, автоматизированные системы управления предприятием, оптимизация процессов производства.