

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

**И. В. Бояркина, В. Н. Тарасов**

Аналитическое обоснование параметров и норм слойности пневмошин для наземных транспортных средств

В статье предложено определять грузоподъемность пневмошины как функцию обобщенного геометрического параметра  $DB$ , равного произведению наружного диаметра  $D$  и ширины профиля шины  $B$ . Норма слойности пневмошин четное число  $nc = 2, 4, 6, \dots$  является сложным параметром, который характеризует грузоподъемность, конструкцию шины, ее прочность, технологические особенности, давление воздуха в шине. Впервые получены зависимости грузоподъемности шины  $Q$  от обобщенного параметра  $DB$  для разных норм слойности пневмошин  $nc = 4, \dots, 12$  для диагональных и радиальных шин. Получены зависимости площади контакта пневмошины  $A_k$  от обобщенного геометрического параметра  $DB$  для разных норм слойности диагональных и радиальных пневматических шин.

**Ключевые слова:** каркас шины, площадь контакта, номинальная грузоподъемность.

**Ю. И. Матяш, Ю. М. Сосновский, А. А. Ражковский, Е. М. Кондриков**

Изменение физико-химических свойств стальных узлов и деталей железнодорожного транспорта как метод определения остаточного ресурса

Рассмотрены термодинамические процессы, происходящие в металлических сплавах при их охлаждении от температуры плавления до нормальной температуры окружающей среды. Показано, что наиболее приемлемый метод прогнозирования остаточного ресурса деталей железнодорожного подвижного состава должен базироваться на использовании полуэмпирических расчетных зависимостях, связывающих изменение энергетических параметров металлических изделий с изменением их структурной рыхлости. Обосновано наличие точки перегиба на зависимости изменения прочностных свойств металла от структурной рыхлости.

**Ключевые слова:** конструирование технических деталей, остаточный ресурс, структурная рыхлость, энергетический барьер, термодинамические процессы.

**В. Н. Тарасов, И. В. Бояркина**

Исследование влияния нормы слойности на параметры и характеристики пневмошин

В статье предложено определять грузоподъемность диагональных и радиальных пневмошин как функцию обобщенного геометрического параметра  $(DB/nc)$ , равного произведению наружного диаметра  $D$ , ширины профиля  $B$ , поделенного на норму слойности  $nc$ . Грузоподъемность шины  $Q$  зависит от геометрических параметров, давления в шине, нормы слойности и прочности шины. Получены графические зависимости, которые облегчают процедуру выбора параметров пневматической шины для заданных условий эксплуатации. Предложено массу шины  $m_k$  определять как функцию от обобщенного геометрического параметра  $(DBH)$ , представляющего собой произведение наружного диаметра  $D$ , ширины профиля  $B$  и высоты профиля  $H$  шины для каждой нормы слойности пневмошины.

**Ключевые слова:** грузоподъемность, масса шины, норма слойности.

**В. А. Щепетков, Е. С. Аникин, А. В. Зубарев, А. О. Звонов**

Углы наклона нити к меридиану на сборочном барабане и экваторе поверхности резинокордной оболочки

В процессе анализа основной формулы расчета автомобильных шин, устанавливающей связь между углом наклона нити корда в любой точке автомобильной шины данного профиля и углом наклона нити по экватору шины, получены три формулы произведения синусов, дополнительно раскрывающие взаимодействие между углами наклона нити как на сборочном барабане, так и на поверхности шины. Полученные формулы актуальны для расчета резинокордных оболочек пневматических амортизаторов.

**Ключевые слова:** шина, резинокордная оболочка, расчет, сборочный барабан, угол наклона нити корда.

**Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, А. Е. Маталасова, С. А. Бородихин, И. А. Пономарев**

Влияние карбида бора на свойства наплавленного металла на основе дисперсионно-твердеющей хромоникелевой стали

Проанализированы преимущества и недостатки хромоникелевых сталей, используемых для наплавки покрытий уплотнительных поверхностей запорной трубопроводной арматуры. На основе этого предложен новый состав порошковой проволоки, обеспечивающий после наплавки металл системы легирования Cr-Ni-Mo-Mn-Si-Nb-Ti-B. Представлены структура и свойства такого металла. Установлено, что предложенная порошковая проволока обеспечивает комплексное упрочнение матрицы наплавленного покрытия карбоборидными и интерметаллидными фазами, что позволяет существенно повысить работоспособность и надёжность узлов запорной арматуры, работающих на истирание в контакте с агрессивными средами.

**Ключевые слова:** запорная арматура, хромоникелевая сталь, карбид бора, наплавка, порошковая проволока, структура, твёрдость, износостойкость.

**Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, С. А. Бородихин, К. Е. Ивлев, А. Е. Маталасова, И. А. Пономарев**

Нитридно-боридное упрочнение мартенситной стали

Проанализировано раздельное использование азота и бора для легирования коррозионностойких сталей. Предложено комплексное совместное применение соединений азота и бора для упрочнения хромистой стали с мартенситной матрицей. Разработан новый состав высокохромистой порошковой проволоки с комплексом боридных соединений (BN, TiB<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub>), обеспечивающий получение наплавленного металла композиционного типа. Приведены результаты исследований структуры, свойств и фазового состава такого металла. Установлено, что образование в таком металле мартенситной матрицы с уменьшенным средним размером фрагментов структуры, возникающих вследствие выделения дисперсных нитридно-боридных фаз, обуславливает высокие показатели твёрдости и износостойкости покрытий, наплавленных новой порошковой проволокой.

**Ключевые слова:** хромистая сталь, мартенситная структура, бориды, упрочнение, наплавка, порошковая проволока, твёрдость.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА

**А. В. Бубнов, С. В. Бирюков, А. Н. Четверик**

Особенности построения синхронно-синфазного электропривода на основе многофункционального логического устройства сравнения с косвенным определением ошибки по угловой скорости

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 анализ возможностей улучшения динамики электропривода с фазовой синхронизацией и синхронно-синфазный электропривода на основе использования методов косвенного определением ошибки по угловой скорости, реализованных на основе многофункционального логического устройства сравнения. Предложены классификации методов косвенного определения ошибки по угловой скорости (вариантов построения блока определения частотного рассогласования сравниваемых импульсных последовательностей) и способов организации управления электроприводом с использованием блока определения частотного рассогласования сравниваемых импульсных последовательностей.

**Ключевые слова:** электропривод с фазовой синхронизацией, синхронно-синфазный электропривод, логическое устройство сравнения, дискриминатор.

**В. Р. Ведрученко, А. Л. Иванов, В. А. Борисов, П. В. Литвинов**

Анализ путей образования вредных веществ в отработавших газах поршневых двигателей

В статье представлен подробный анализ путей образования оксидов азота, окиси углерода, углеводородов, альдегидов, сажи и твёрдых частиц в отработавших газах поршневых двигателях. Приведен обзор влияния данных веществ на экологию и представлены результаты для нахождения путей снижения концентрации вредных веществ в отработавших газах поршневых двигателей для улучшения энергоэффективности.

**Ключевые слова:** поршневые двигатели, отработавшие газы, процесс сгорания, оксиды азота, оксиды углерода, углеводороды, твёрдые частицы.

**С. С. Бусаров, В. К. Васильев, И. С. Бусаров, Б. С. Сажин, Ю. Н. Панин**

Параметрический анализ рабочих процессов тихоходных длинноходовых бессмазочных поршневых компрессорных ступеней на базе верифицированной методики расчёта

Расчётно-параметрический анализ эффективности рабочего процесса воздушной бессмазочной тихоходной длинноходовой ступени компрессорного агрегата среднего давления выполнен на базе верифицированной методики расчёта. В статье рассмотрено влияние на температуру нагнетания, индикаторный КПД и коэффициент подачи основных конструктивных и режимных параметров ступени. Расчёты показали, что такие параметры как время цикла, диаметр цилиндра и ход оказывают существенное влияние на экономичность рабочего процесса и температурный режим ступени и могут являться параметрами оптимизации при разработке поршневой ступени такого типа.

**Ключевые слова:** тихоходный поршневой компрессор; рабочие процессы; теплообмен; температура нагнетания, индикаторная диаграмма, температурная диаграмма, математическое моделирование, среднее давление.

### **С. В. Глухов, М. В. Глухова, С. В. Чичерин**

О возможности использования котельной на возобновляемом топливе (бытовом мусоре) в системе централизованного теплоснабжения города Омска

Проведен анализ оптимального расположения площадки термической утилизации бытового мусора (или подготовленного топлива на его основе) с определением тепловой мощности установки, исходя из величины замещаемых тепловых нагрузок, а также конкурентной стоимости одной Гкал отпущенной тепловой энергии. Утвержденные тарифы на отпуск тепловой энергии отопительных котельных превышают предельный уровень стоимости, рассчитанный по методу «альтернативной котельной» для источника на RDF-топливе. Обобщив имеющиеся сведения, начата работа над новой научно-обоснованной, применимой в отечественных реалиях и пригодной для автоматизированной обработки последовательности действий. Предложен алгоритм для решения данной задачи, а также создания необходимого методологического аппарата.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, мусоросжигание, твердые бытовые отходы, источник, тариф, топливо.

### **С. В. Глухов, Д. А. Чуриков**

Новый подход к управлению системами теплоснабжения малых населенных пунктов

В статье рассмотрены основные группы систем централизованного теплоснабжения в малых населённых пунктах с целью выявления общих сценариев развития по каждой группе в зависимости от внешних факторов. Для упрощения выбора наиболее оптимального направления модернизации предложен перечень типовых энергосберегающих мероприятий. Обоснована необходимость создания структурной единицы, отвечающей за разработку схем теплоснабжения, технических заданий на составление инвестиционных программ, программ повышения энергетической эффективности, при органах муниципальной власти.

**Ключевые слова:** система централизованного теплоснабжения, энергетическая эффективность, схема теплоснабжения, ресурсосбережение, энергетический менеджмент.

### **Н. М. Зайцева**

Решение ряда электроэнергетических задач с использованием методов искусственного интеллекта

В статье рассмотрены проблемы поиска энергоэффективного режима функционирования и прогнозирования энергопотребления для одного из энергоемких непрерывных производств, которое характеризуется нелинейностью, инерционностью и замкнутостью. Для их решения предложено детерминированное моделирование технологического процесса производства с применением нечеткой логики. Для решения оптимизационной задачи поиска энергоэффективного режима применен генетический алгоритм, в результате которого получены значения управляющих технологических параметров, обеспечивающих снижение энергозатрат производства. Для прогнозирования энергопотребления предложена модель динамического характера, позволяющая при любых технологических режимах определять электропотребление производства без ретроспективных данных.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, прогнозирование, энергопотребление, моделирование, энергоемкое производство, генетический алгоритм.

**Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Л. А. Файфер, Б. Ю. Киселёв, Н. Н. Долгих**

Разработка метода расчета потерь мощности в токоведущих частях при наличии интергармоник

Предложен алгоритм, рассчитывающий потери мощности в токоведущих частях систем электроснабжения (СЭС), работающих в несинусоидальных нестационарных режимах и содержащих интергармоники. Интергармоники представляют собой колебания напряжения (тока), которые не кратны основной частоте питающей сети. Предлагаемый алгоритм основан на применении пакетного вейвлет-преобразования (ПВП), которое позволяет анализировать сигналы не только в частотной области, но и временной. Применение ПВП позволило избавиться от главного недостатка преобразования Фурье (ПФ) – эффекта «растекания спектра». При проведении эксперимента роль нелинейной нагрузки в СЭС выполнял 6-пульсный преобразователь. Произведен расчет потерь мощности при наличии интергармоник в сети с помощью представленного алгоритма.

**Ключевые слова:** вейвлет-преобразование в электроэнергетике, высшие гармоники в системах электроснабжения, качество электрической энергии, потери мощности при наличии интергармоник.

**Д. А. Поляков**

Математическая модель расчета остаточного ресурса сшитой полиэтиленовой изоляции кабелей

Актуальной задачей в области повышения надежности электроснабжения является сокращение количества коротких замыканий. В связи с этим, контроль состояния изоляции кабельных линий электропередачи необходим на протяжении всего срока эксплуатации. Однако многие методы контроля состояния изоляции не позволяют прогнозировать пробой изоляции и время до ее полного износа. В связи с этим все более актуальным является направление исследований по разработке способов расчета остаточного ресурса изоляции. В статье рассматривается математическое моделирование процессов старения изоляции с использованием элементов математической статистики. Предложена методика расчета остаточного ресурса изоляции кабелей. Полученные результаты говорят о необходимости доработки статистических элементов математической модели. Использование методов экспоненциальной экстраполяции позволит прогнозировать время до полного износа изоляции.

**Ключевые слова:** кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, математическое моделирование старения изоляции, остаточный ресурс изоляции кабеля, мониторинг состояния изоляции.

**Д. А. Поляков, В. Н. Пугач, К. И. Никитин, Д. А. Юрчук**

Система сбора данных для мониторинга состояния изоляции кабелей из сшитого полиэтилена

Мониторинг состояния изоляции кабельных линий является актуальной проблемой электроэнергетики в связи с большим количеством коротких замыканий, вызванных пробоем изоляции. При решении задачи мониторинга состояния изоляции ключевыми факторами

являются определение предпробойного состояния изоляции и расчет ее остаточного ресурса. Определять предпробойное состояние предлагается путем мониторинга характеристик частичных разрядов, которые, как известно, имеют определенную динамику изменения перед пробоем. Для определения остаточного ресурса требуется дополнительно контролировать напряжение питающей сети и температуру изоляции кабеля. В статье предложена реализация системы сбора данных, включающая в себя функции мониторинга всех учитываемых в процессе определения предпробойного состояния и остаточного ресурса изоляции воздействий. На основе получаемых данных предполагается в режиме онлайн рассчитывать остаточный ресурс изоляции и анализировать характеристики частичных разрядов по заданным в программном обеспечении математическим моделям.

**Ключевые слова:** кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, предпробойное состояние изоляции кабеля, остаточный ресурс изоляции кабеля, мониторинг состояния изоляции.

**В. Ю. Мирошник, Д. А. Любзных, Е. В. Помогалова, Д. В. Батулько, Е. Г. Андреева**

Определение поврежденного присоединения при различных видах замыкания в распределительных сетях 6–35 кВ с использованием параметров аварийного режима

Проведен обзор и анализ существующих методов и алгоритмов определения поврежденного присоединения в распределительных сетях 6–35 кВ с использованием параметров аварийного режима. Приведено описание алгоритмов, применяемых в современных микропроцессорных устройствах защиты и автоматики. На основе рассмотренных методов построена имитационная модель определения поврежденного линии и вида замыкания. Описан принцип действия модели определения поврежденного присоединения. Приведено описание вспомогательных блоков.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, замыкания в сети, определение поврежденного присоединения, микропроцессорные устройства защиты.

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

**В. Л. Хазан, А. Н. Калинин**

Передача дискретных сообщений по коротковолновому каналу связи с использованием частотно-временных матриц

В статье описывается новый модем с частотно-временным кодированием и частотным разнесением сигнала для передачи сообщений по коротковолновому каналу радиосвязи. Предлагаемый модем имеет повышенную помехоустойчивость по сравнению с известными модемами в условиях селективных замираний сигнала, в присутствии аддитивных помех как сосредоточенных по спектру (станционных помех), так и сосредоточенных по времени (импульсных помех). Произведена оценка энергетического выигрыша описываемого модема по отношению к существующим.

**Ключевые слова:** частотно-временная матрица, помехоустойчивость, многопозиционные сигналы, импульсные помехи, станционные помехи, замирания.

**А. Е. Карелин, А. В. Майстренко, А. А. Светлаков, С. А. Харитонов**

Синтез метода автоматического регулирования процессов, основанного на концепции обратных задач динамики

В статье предложен новый подход к синтезу методов автоматического регулирования объектов, основанный на использовании концепции обратных задач динамики. Рассмотрена сущность ПИД-регулирования объектов и причины, обуславливающие необходимость поиска методов автоматического регулирования, являющихся альтернативными ПИД-регулированию, и изложен названный выше подход к синтезу методов автоматического регулирования объектов.

**Ключевые слова:** автоматический регулятор, ПИД-регулирование, обратная задача динамики, производная.

**Е. В. Леун**

Интеллектуальный токарный резец с приборами активного контроля температуры зоны резания, размеров изделия и параметров формы его поверхности

В статье представлен интеллектуальный токарный резец с тремя приборами активного контроля (ПАК). В первом ПАК температуры зоны резания трез в нее направляется струя смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), используемая также и для передачи ИК-излучения  $\lambda_1(\text{трез})$  как по «жидкому» световоду из зоны резания к пирометру для измерения температуры. Также в струе формируются с периодом  $\Lambda_{\text{стр}}$  бегущие утолщения, вырастающие к концу струи до капли диаметром до 2-х диаметров струи, которые бьют «дробью» по образующей стружки для ее ломки с увеличением силы давления струи до  $\approx 2,7$  крат.

Во втором ПАК измеряется размер изделия за счет совместной работы низко- и высококогерентных измерителей перемещения соответственно в малом  $\Delta/1$  и большом  $\Delta/2$  диапазонах измерений. В третьем ПАК представлен пример применения метода теневого сечения для измерения параметров формы его поверхности.

**Ключевые слова:** токарный резец, струя жидкости, активный контроль, капля, ломка стружки.

**В. В. Томилов, О. С. Томилова**

Экспериментальное исследование эффективности работы ультрафиолетовых стерилизаторов воды

Экспериментальный контроль времени облучения воды в ультрафиолетовых стерилизаторах воды позволяет дать оценку эффективности их работы и предложить пути усовершенствования конструкций. Предлагаемые решения позволяют повысить эффективность обеззараживания путем обеспечения более равномерного облучения потоков воды. Выравнивание ультрафиолетовой дозы обеспечивается тангенциальными завихрителями на входе и выходе корпуса и шнековой конструкцией камеры обеззараживания. Результаты исследований стерилизаторов приведены для характерного диапазона расхода воды в пассажирских вагонах железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** экспериментальный стенд, ультрафиолетовый стерилизатор, время облучения, доза облучения, тангенциальный завихритель, пассажирский вагон.

**Р. Р. Фахрутдинов, С. А. Завьялов**

Моделирование влияния фазовой ошибки квадратур гетеродина на подавление интермодуляционных продуктов в синфазно-квадратурной петле

Современные радиопередающие системы, использующие амплитудную и амплитудно-фазовую модуляцию, формируют радиочастотный сигнал, имеющий сложный спектр. Линеаризовать усилитель мощности, при сохранении низкого потребления, позволяет синфазно-квадратурная петля. На эффективность линеаризации влияют многие факторы, в частности фазовая ошибка квадратур гетеродина. В статье рассмотрена модель синфазно-квадратурной петли в Matlab и моделирование влияния фазовой ошибки квадратур гетеродина на уровень интермодуляционных продуктов третьего порядка. Установлено, что фазовая ошибка не приводит к снижению эффективности их подавления. При этом синфазно-квадратурная петля снижает уровень верхней боковой полосы на 10 дБ.

**Ключевые слова:** синфазно-квадратурная петля, усилители мощности, фазовая ошибка, нелинейные искажения, моделирование.

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

**А. А. Колоколов, И. А. Циглер**

Решение некоторых задач формирования целевых групп с учетом логических

В работе рассматривается задача проектирования целевых групп с логическими ограничениями, учитывающими как согласованные, так и несогласованные межличностные отношения. Для этой задачи построена модель целочисленного линейного программирования (ЦЛП) и предложены алгоритмы решения, основанные на методе ветвей и границ и методе отсечения. Выполнен вычислительный эксперимент с указанными алгоритмами и коммерческим пакетом CPLEX, показавший классы задач, на которых одни алгоритмы имеют преимущество над другими.

**Ключевые слова:** дискретная оптимизация, задачи формирования целевых групп, целочисленное программирование, метод ветвей и границ, отсечения.

**В. И. Потапов**

Численно-аналитическое решение игровой задачи противоборства аппаратно-избыточной динамической системы с противником, действующих в условиях неполной информации о поведении участников игры

Разработана математическая модель игровой задачи, в которой противоборствующие стороны действуют и принимают решения в условиях неполной информации о поведении участников игры. Атакуемая сторона располагает аппаратно-избыточной динамической системой, которая обладает не только ресурсом защиты от атак противника, но и ресурсами активного воздействия на вероятности нахождения атакующей стороны в соответствующих состояниях атаки. Полагается, что поведение противоборствующих сторон аппроксимируется марковским процессом. Решение рассматриваемой дифференциальной игры сводится к многошаговой матричной игре и последовательному ее решению на интервалах дискретизации с постоянными средними вероятностями нахождения атакующей стороны на этих интервалах. При решении задачи используются численные и аналитические методы.



**Ключевые слова:** игровая задача, математическая модель, динамическая система, численно-аналитический метод, информация, вероятностный процесс, противоборство.

**В. И. Потапов, М. Л. Раловец**

Информационные критерии для оценки состояния динамической технической системы, участвующей в конфликтной ситуации

В статье дается обоснование применения информационных критериев, используемых в теории информации для информационной оценки состояния динамической технической системы, участвующей в конфликтной ситуации, и эффективности ее системы тестового контроля и управления восстановлением работоспособности отказавших функциональных модулей системы в процессе конфликта в результате атак противника. Приводятся информационные критерии оценки состояния восстанавливаемой после отказов в процессе конфликта функциональных модулей технической системы. Дается информационная оценка эффективности системы тестового контроля и управления восстановлением после отказов в процессе конфликта динамической технической системы.

**Ключевые слова:** динамическая техническая система, конфликтная ситуация, теория информации, тестовый контроль, отказ системы, восстановление работоспособности.

**О. Т. Данилова, С. О. Савченко, Н. В. Капчук**

Алгоритм построения модели нарушителя на примере системы физической защиты с применением теории игр и теории графов

Для эффективного обеспечения защищенности системы информационной безопасности от различных видов атак и более тщательного описания нарушителя целесообразно рассматривать процесс защиты как одноходовую матричную бескоалиционную игру с совершенной информацией и нулевой суммой – существуют два игрока с конечным набором стратегий, которые знают все о действиях друг друга и выигрывают исключительно за счет оппонента, не имея возможности скооперироваться. В данной работе описывается использование элементов теории игр, теории вероятностей и теории графов для разработки алгоритма построения модели нарушителя в системе информационной безопасности.

**Ключевые слова:** модель нарушителя, теория игр, информационная безопасность, моделирование, графы.

**Д. А. Елизаров**

Разработка системы распознавания дорожных объектов

В статье приводится описание разрабатываемой системы распознавания дорожных объектов (знаки, пешеходы и другие участники дорожного движения). Описываются алгоритмы, применяемые в модулях «Предобработка изображения» и «Поиск и распознавание объектов». Данная система направлена на сокращение числа дорожно-транспортных происшествий, вызванных неверной оценкой водителями дорожной ситуации. По сравнению с аналогичными системами разрабатываемая система будет отличаться по качеству распознавания дорожных знаков и анализировать большее число объектов, выделяемых в дорожной ситуации.

**Ключевые слова:** активное компьютерное зрение, обнаружение объектов, предобработка изображения, распознавание образов, безопасность движения.

**В. А. Бадрызов**

Классификация случайных графов с предпочтительным связыванием

Выполнен обзор принципов генерации различных видов случайных графов, строящихся по правилам предпочтительного связывания. Показано многообразие предложенных подходов к построению случайных графов, существенно расширяющих базовую идею предпочтительного связывания. Выделены наиболее существенные классификационные признаки, позволяющие построить систему классификации случайных графов.

**Ключевые слова:** случайный граф, предпочтительное связывание, классификационные признаки.