

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

**П. Д. Балакин, В. Н. Бельков, А. В. Бородин**

Кинематика автовариаторного привода машин

На основе теоретических положений принципа конструирования механических систем наделением систем свойствами адаптации к реальным параметрам и режиму эксплуатации предлагается использовать для управляющего движения энергию основного силового потока и раздельное моделирование парциальных движений в многоподвижной неголономной связи, что позволяет решить задачу о движении механической системы в целом. На примере лобового автовариатора решение доведено до инженерного расчета элементов цепи управления передаточной функцией автовариатора при переменном внешнем нагружении.

**Ключевые слова:** неголономная, многоподвижная связь, обобщенные координаты, моделирование движений, встроенная цепь управления, автовариатор, передаточная функция.

**Е. Н. Еремин, В. М. Юров, В. Ч. Лауринас, А. Ш. Сыздыкова**

Влияние технологических параметров нанесения многоэлементных ионно-плазменных покрытий на их качество

Изучены технологические параметры нанесения высокоэнтропийных ионноплазменных покрытий на основе стали 12X18H10T, легированной цирконием, медью и алюминием. Установлено, что с увеличением тока дуги испарителя поверхностная энергия покрытия уменьшается, что объясняется быстрым ростом его толщины, приводящим к увеличению плотности дислокаций в формируемом покрытии. Оптимальное значение тока дуги составляет 90–110 А. Покрытия, полученные при давлении азота  $P=10^{-3}$  мм рт. ст. и температуре подложки 400°C, имеют наиболее равномерно распределенную мелкую плотную структуру, минимальное содержание капельной фазы, пор, наплывов, отслоений, наибольшие значения поверхностной энергии и увеличения микротвердости на 30 %.

**Ключевые слова:** ионно-плазменное напыление, многоэлементные покрытия, микротвердость, поверхностная энергия, параметры напыления.

**А. П. Моргунов, В. В. Деркач, И. В. Киргизова**

Разработка блока управления параметрами режимов обработки материала

Использование современных энерго- и ресурсосберегающих технологий в многофакторных технологических процессах являются перспективным направлением развития производственного сектора большинства развитых стран. Цель работы — разработка системы управления по программе Arduino UNO параметрами режима обработки материала. В статье описаны результаты разработки и создания системы управления параметрами режима обработки материала в электрохимической установке. В результате проведенных экспериментов была разработана система блока управления с автоматическим программированием с заданными циклами, ориентированными на изменения макроотклонений формы обрабатываемой заготовки.

**Ключевые слова:** электрохимическая обработка, режимы обработки, блок управления, аэропонная установка, агропромышленный сектор.

**А. В. Штиб, В. Р. Ведрученко, И. И. Малахов**

О моделировании рабочего процесса судового дизеля при использовании в качестве топлива газового конденсата Уренгойских месторождений

В статье приведен краткий обзор основных физико-химических свойств разных топлив, в том числе смесей дизельного топлива и газового конденсата. Рассматривается анализ показателей рабочего процесса дизельного двигателя на жидком топливе разного состава. Приведены графическая и аналитическая интерпретация рабочего цикла, горения топлива и изменения давления. Проанализировано влияние свойств жидких стандартного и альтернативного топлив на параметры рабочего процесса. Проанализированы результаты численного моделирования индикаторного процесса дизеля на смеси газового конденсата и стандартного дизельного топлива.

**Ключевые слова:** работа судового двигателя, цилиндр двигателя, судовые дизели, дизельное топливо, газовый конденсат, индикаторный процесс, цетановое число.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**В. В. Харламов, С. Н. Найден, П. К. Шкодун, П. Г. Петров, А. С. Хлопцов**

Методика оценки состояния коммутации тяговых электродвигателей карьерных самосвалов в условиях эксплуатации

В статье изложена методика оценки состояния коммутации тяговых электродвигателей постоянного тока карьерных самосвалов БелАЗ, основанная на обработке данных, полученных с помощью автоматизированного видеоизмерительного комплекса оценки коммутации. Приведен разработанный алгоритм формирования значения интенсивности искрения по видеоизображению, определены критерии оценки коммутации, выполнен анализ режимов и качества работы тяговых электродвигателей в зависимости от режима эксплуатации карьерного самосвала. Обработка входных и выходных данных проведена в программе MATLAB 2017.

**Ключевые слова:** карьерный самосвал, двигатель постоянного тока, коммутация, интенсивность искрения, алгоритм обработки видеоизображения, пиксель, матрица изображения, графические фильтры, цикл, синхронизация данных, коэффициент пульсации, коэффициент ослабления поля.

**В. В. Харламов, Д. И. Попов**

Разработка алгоритмов эффективного управления процессом испытаний асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки

Сформулирована актуальность вопроса разработки энергоэффективных электротехнических комплексов, предназначенных для проведения испытаний асинхронных машин. Отмечена необходимость автоматизации испытательных стендов с целью повышения их надежности. В качестве объекта исследований выбраны схемы для испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки. Для данных схем разработаны алгоритмы эффективного управления, исключающие возможную перегрузку в процессе пуска и последующего нагружения электрических машин до номинального режима. Полученные результаты могут быть применены при производстве и эксплуатации асинхронных машин.

**Ключевые слова:** испытательный комплекс, асинхронная машина, частотный преобразователь, нагрузочные испытания, алгоритм управления, взаимная нагрузка.

**К. С. Маркелова, О. А. Сидоров, В. М. Филиппов**

Повышение экологической безопасности системы токосъема электрического наземного транспорта

В статье приведены преимущества существующих видов наземного электрического транспорта. Выявлены условия для обеспечения надежного, экономичного и экологичного токосъема электрического транспорта. Изложены результаты экспериментальных исследований негативных факторов, возникающих при токосъеме в реальных условиях эксплуатации эстакадного электрического транспорта. Рассмотрены методы, повышающие экологическую безопасность системы токосъема наземного электрического транспорта. Приведено описание приоритетных конструкций токоприемников, обладающих улучшенными экологическими характеристиками.

**Ключевые слова:** электрический транспорт, система токосъема, шинопровод, токоприемник, экологическая безопасность, негативные факторы при токосъеме, качество токосъема, защитный экран.

**И. В. Присухина, Д. В. Борисенко**

Машинная классификация сигналов числового кода в электротехнических системах локомотивной сигнализации

Системы автоматической локомотивной сигнализации, применяемые на железных дорогах России, используют электрическую рельсовую цепь в качестве среды для передачи сигналов на локомотив. Сигналы в такой электротехнической системе в значительной степени подвержены влиянию помех, создаваемых тяговым током и различными внешними факторами, что приводит к сбоям в работе существующих систем и нарушению движения поездов. Для повышения устойчивости работы локомотивных систем, принимающих сигналы из электрических рельсовых цепей, предложено применить алгоритм машинной классификации на основе нейронной сети. В статье представлены основные стадии данного алгоритма и рассмотрена архитектура нейронной сети для классификации принятого электрического сигнала. Также продемонстрирована работа предложенного алгоритма при приеме из рельсовой цепи электрических сигналов с помехами, вызывающими сбои в существующих системах автоматической локомотивной сигнализации.

**Ключевые слова:** автоматическая локомотивная сигнализация, числовой код, машинное обучение, нейронная сеть, железнодорожная автоматика, конечный автомат.

**А. А. Татевосян**

Решение задачи оптимального управления магнитоэлектрического привода колебательного движения

Дана математическая формулировка и решение задачи оптимального управления магнитоэлектрического привода машин с колебательным движением рабочего органа. На основе полученного решения построен алгоритм оптимизации конструкций линейных магнитоэлектрических двигателей на заданный закон движения ротора из условия обеспечения максимума развиваемого двигателем электромагнитного усилия и минимума массы используемых активных материалов.

**Ключевые слова:** решение задачи оптимального управления, минимизация функционала, закон движения ротора, максимум электромагнитной силы, минимум массы используемых активных материалов.

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

**К. К. Ким, А. А. Ткачук, А. А. Кузнецов**

Двухканальный электрический уровнемер жидкого гелия

Рассматривается измеритель уровня жидкого гелия для транспортных криомодулей высокоскоростного наземного транспорта с магнитным подвесом. Необходимость в разработке подобного измерителя продиктована спецификой функционирования криомодулей, входящих в состав транспортных систем, а именно работой в сильных магнитных полях. Приведен принцип работы измерительной системы уровнемера, сделаны выводы относительно точности его измерений. Установлена возможность использования многоканальной системы уровнемера с датчиками и переключающим устройством в схеме вторичного прибора.

**Ключевые слова:** уровнемер, жидкий гелий, сверхпроводимость, криомодуль, погрешность измерений, датчики.

**А. И. Блесман, Р. Б. Бурлаков**

Электрические и фотоэлектрические свойства фотоэлементов на основе контакта Au-*n*-GaAs с барьером Шоттки

Рассмотрены структура и методика изготовления фотоэлемента на основе контакта Au-*n*-GaAs с барьером Шоттки. Измерены ВАХ фотоэлементов, их С-V-характеристики, спектры фото-э.д.с. и тока короткого замыкания и определена высота барьера Шоттки  $\phi_{Bn}$  контактов Au-*n*-*n*<sup>+</sup>-GaAs фотоэлектрическим методом. Показано, что отжиг структур *n*-*n*<sup>+</sup>-GaAs-AuGe в воздухе при (200–220)°С в течение 30 минут перед осаждением пленки Au на *n*-слой GaAs приводит: к уменьшению на два-три порядка прямых  $I_{np}$  и обратных токов  $I_{обр}$  (при  $V=0,5$  В), уменьшению на три порядка плотности тока насыщения  $J_0$ , уменьшению емкостей фотоэлементов до значений (204–191) пФ при обратных напряжениях (0,22–0,96) В, уменьшению тока короткого замыкания фотоэлементов и к увеличению их фото-э.д.с., что связано с образованием тонкого слоя оксида арсенида галлия на *n*-слое при отжиге структур *n*-*n*<sup>+</sup>-GaAs-AuGe в воздухе.

**Ключевые слова:** способ изготовления фотоэлемента, арсенид галлия *n*-типа, контакты с барьером Шоттки.

**А. И. Блесман, Р. Б. Бурлаков, Д. А. Полонякин**

Электрические и фотоэлектрические свойства 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 (0,9–0,4) мкм, либо в области (0,5–1,4) мкм. Рассмотрены способ изготовления и результаты исследования электрических и фотоэлектрических характеристик двухспектрального фотоэлемента, основанного на двух контактах Al-*p*-Si и Ti-*p*-Si с барьером Шоттки, расположенных на противоположных сторонах Si пластины.

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

**С. С. Колмогорова, Д. С. Баранов, А. С. Колмогоров, С. В. Бирюков**

Автоматизация обработки сигналов датчиков напряженности электрического поля, входящих в информационно измерительную систему

Неблагоприятное воздействие электромагнитных полей на человека приводит к необходимости исключения его присутствия в процессе измерения. Поэтому задачи, связанные с автоматизацией измерения параметров электромагнитных полей, являются актуальными. В связи с этим в статье рассматривается автоматизация обработки измерительных сигналов с чувствительных элементов датчиков в процессе измерений. В рассмотрении участвуют датчики электрического поля, имеющие от одного до шести чувствительных электродов (в зависимости от модификации). Обработка сигналов и алгоритмические операции осуществлены на платформе Siemens S7-300 с весоизмерительными модулями Siwetex. Отличительной особенностью является алгоритм обработки показаний датчиков в процессе получения данных. Возможна интеграция нижнего уровня в стороннюю систему SCADA. Результаты исследования позволили заключить, что при прямых измерениях необходимо учитывать площадь перекрытия чувствительных электродов датчика и скорость изменения его показаний; реализация алгоритмов коррекции по указанным параметрам позволяет системе быстро адаптироваться к изменениям технологических условий и добиваться высокой точности измерений; в качестве человеко-машинного интерфейса следует использовать программный продукт Siemens WinCC Flexible.

**Ключевые слова:** автоматизация процесса измерений, датчик напряженности электрического поля, чувствительный электрод, измерительный сигнал, обработка сигналов датчика, программа обработки, электрометрические измерения.

**Е. В. Леун**

Совершенствование способов и средств контроля отклонений от прямолинейности на основе акустооптических гетеродинных лазерных измерительных систем

В статье рассматриваются вопросы построения высокоточных акустооптических (АО) гетеродинных лазерных измерительных систем контроля отклонений от прямолинейности при работе в непрерывном режиме с фазо-цифровым  $\Delta\varphi(\Delta l^y) - \Delta N_{\text{вых}}$  и частотно-цифровым  $\Delta f(\Delta l^y) - \Delta N_{\text{вых}}$  преобразованиями, а также в импульсном режиме. Обсуждаются вопросы применения твердотельных АО модуляторов, систем фазовой автоподстройки фазы и частоты совместно с волоконными фазомодуляторами и прецизионными АЦП. Предложены варианты линеаризации функции преобразования, повышения разрешающей способности. Рассматриваются возможности реализации лазерных измерительных систем с опорными каналами и допускового контроля.

**Ключевые слова:** отклонение от прямолинейности, лазерная измерительная система, акустооптический модулятор, фазовая автоподстройка, фазовый сдвиг, фазомодулятор, фазо-цифровое преобразование, частотно-цифровое преобразование.

**И. В. Платов, Е. В. Леун, А. И. Чередов, Ю. Н. Мишин**

Особенности контроля давления в трубопроводах двигательных установок космических аппаратов

В статье рассматриваются вопросы построения тензометрических систем для контроля давления трубопроводов газовых и топливных магистралей двигательных космических аппаратов. Обсуждаются возможность и особенности установки чувствительных элементов на трубопроводы, не нарушающих их герметичности. Представлена методика расчета максимального и минимального значений давления в трубопроводе из нержавеющей стали при использовании тензометрической системы на основе пленочных полупроводниковых чувствительных элементов тензорезисторов на основе моносulfида самария (SmS).

Предложена конструкция измерительной схемы, состоящая из генераторного датчика на основе тензорезисторов с системой фазовой автоподстройки частоты с возможностью частотно-цифрового преобразования.

**Ключевые слова:** космический аппарат, двигательная установка, газовые и топливные магистрали, тензометрическая система, моносulfид самария, система фазовой автоподстройки частоты, частотно-цифровое преобразование.

**А. М. Демин, А. П. Науменко**

Диагностирование теплообменного оборудования на основе режимных параметров установки гидроочистки дизельных топлив

Исследование посвящено проблемам загрязнения теплообменного оборудования процессов гидроочистки дизельных топлив и диагностирования теплообменников. Цель работы — определение критических параметров эксплуатации теплообменников. Согласно результатам расчетов на математической модели типовой установки гидроочистки с использованием программы диагностирования в режиме реального времени, основанной на контроле режимных параметров, критерий оценки состояния теплообменника реакторного блока при увеличении коэффициента загрязнения межтрубного пространства увеличивается с 1 до 1,37. При этом происходит снижение температуры сырья на выходе из аппарата и увеличение затрат на дополнительно потребляемое топливо печами в размере более 1 млн руб./мес. Диагностирование теплообменных аппаратов в режиме реального времени позволяет оптимизировать эксплуатационные затраты, в том числе подобрать оптимальный срок чистки трубных пучков с точки зрения сопоставимости затрат на дополнительно потребляемое топливо и на чистку.

**Ключевые слова:** контроль состояния, критерий оценки состояния, мониторинг в реальном времени, теплообменное оборудование, гидроочистка дизельных топлив.

**В. А. Комаров, А. А. Федотов, Л. А. Денисова**

Обнаружение дефектов магистральных трубопроводов системами виброакустического контроля

В статье рассматриваются вопросы обнаружения дефектов на магистральных трубопроводах путем применения систем активного виброакустического контроля их состояния. Представлены описания и изложены принципы функционирования систем, базирующихся на использовании вероятностных методов распознавания технического состояния объекта. Приведены результаты численных экспериментов, получены зависимости оценок ошибок обнаружения дефектов от интенсивности акустической помехи. Показано, что применение

систем активного виброакустического контроля позволяет эффективно обнаруживать дефект трубопровода (врезку, шурф) даже при малых значениях отношения сигнал/шум.

**Ключевые слова:** виброакустический сигнал, акустическая помеха, дефект трубопровода, врезка, момент распределения, идентификационный тестер, коэффициент корреляции, ошибка обнаружения.

**И. С. Кудрявцева, А. П. Науменко, А. М. Демин**

Критерии оценки вибросостояния объектов по параметрам характеристической функции сигнала

В работе представлены результаты исследований в области технической диагностики и связаны с выявлением и обоснованием новых диагностических признаков неисправностей на основе параметров характеристической функции виброакустического сигнала. Полученные признаки являются интегральными оценками статистических характеристик виброакустических сигналов поршневых компрессоров. В работе исследованы граничные значения величин диагностических признаков на основе параметров площади под кривой модуля характеристической функции виброакустических сигналов. Построены кривые риска принятия решений, рассчитаны вероятности пропуска неисправности и ложной тревоги для выбранных величин диагностических признаков. Использование предложенных признаков позволяет повысить достоверность контроля состояния и диагностирования технических устройств.

**Ключевые слова:** виброакустический сигнал, характеристическая функция, диагностический признак, виброакустическая диагностика, поршневой компрессор.