

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

П. Д. Балакин, В. Н. Бельков, О. С. Дюндик, И. П. Згонник

Функциональные компенсаторы в приводах машин

Реальные механические системы характеризуются реальными параметрами, к которым относятся первичные ошибки изготовления и сборки, силовые и температурные деформации, нештатные режимы эксплуатации, полное знание которых при проектировании систем неизвестно. Неполнота знаний об объекте компенсируется с помощью коэффициентов, вводимых в расчетные формулы. Коэффициенты составляют основу справочной литературы и получены на основе обобщения опыта создания близких по конструкции и назначению объектов. Такой статистический прием идет на повышение запаса прочности, но не позволяет получать оптимальные по критериям работоспособности конструкции, механических приводов в частности. Предлагается использовать принцип конструирования механических систем наделением их на стадии проектирования свойством адаптации к реальным параметрам. Средством адаптации является дополнительное к основному движению звеньев, реализуемое, в частности, функциональными компенсаторами. Приведен алгоритм синтеза компенсатора на примере базовой схемы фрикционного планетарного редуктора.

Ключевые слова: реальные параметры системы, адаптирующее движение, функциональные компенсаторы, геометро-кинематическая модель, статическая неопределимость.

К. А. Вансович, В. И. Ядров

Двухосные испытания металлических образцов на испытательных машинах с одной осью нагружения

Обоснована необходимость экспериментальных исследований по оценке скорости роста усталостных трещин при двухосном нагружении. Сделан обзор испытательных машин для проведения двухосных испытаний металлических образцов, устройств и приспособлений, используемых для обеспечения двухосного нагружения. Описано оригинальное приспособление для распределения вертикального усилия испытательной машины по двум осям крестообразного образца.

Ключевые слова: усталостные испытания, крестообразный образец, поверхностная трещина, двухосное нагружение, коэффициент двухосности нагружения, испытательная машина.

Е. С. Гебель

Анализ особых положений плоского многосвязного рычажного механизма четвертого класса

В статье рассматривается плоский многосвязный рычажный механизм 4-го класса, выходное коромысло которого реализует приближенную остановку заданной продолжительности в одном крайнем положении. Механизм содержит три диады, проходящие свои предельные положения в процессе движения. Таким образом, для рассматриваемого механизма актуальна проблема анализа особых положений, чтобы исключить вероятность его заклинивания или появления неуправляемой подвижности. Математическая модель, построенная на основе теории винтов, представляет собой уравнения равновесия для замкнутых векторных контуров, выделенных в структурной схеме исследуемого механизма. В результате на основе данных геометрического анализа показано, что в процессе движения звенья восемь раз находятся в особых положениях, при этом наблюдается мгновенная остановка со сменой направления угловых скоростей относительного движения звеньев.

Ключевые слова: плоский многосвязный рычажный механизм, сингулярные положения, винтовое исчисление, геометрический анализ, приближенный выстой, замкнутый контур.

Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, Л. Ю. Волкова, В. В. Рындин

Особенности кинематического расчёта роторно-поршневого двигателя Ванкеля

В статье показаны особенности конструкции и принцип действия роторно-поршневого двигателя (РПД) Ванкеля. Приведен анализ научных исследований, направленных на совершенствование конструкции РПД. Предложена методика расчетного исследования, позволяющая графическим способом осуществлять построение цилиндра РПД, имеющего кругообразную форму, поверхность которого выполнена по эпитрохоиде. Обоснован вывод уравнений, позволяющих определять координаты положения точек эпитрохоиды в зависимости от эксцентриситета, величин радиусов начальной образующей эпитрохоиды, зубчатого колеса и неподвижной шестерни. Дано расчетное определение требуемой величины степени сжатия. Показана возможность применения математических пакетов программ с использованием системы Mathcad для вычислений, связанных с изучением особенностей эпитрохоиды двигателя Ванкеля, ее расчетом, исследованием и построением.

Ключевые слова: роторно-поршневой двигатель Ванкеля, расчет эпитрохоиды, построение эпитрохоиды, исследование эпитрохоиды.

К. Н. Пантюхова, О. Ю. Бургонова, Ю. О. Филиппов, Г. П. Уляшева

Усовершенствование технологии изготовления огневзрывопреградителя

При добыче каменного угля преобладающим является подземный способ, обеспечивающий более высокое качество полезного ископаемого. В угольных шахтах при разработке газоносных пластов происходят выделения метана, являющегося причиной формирования взрывоопасной смеси при его смешивании с шахтным воздухом, а также способствующему самовозгоранию угля. Для контроля рудничной атмосферы используются сигнализаторы метана. Термокаталитический датчик является основным элементом такого газоанализатора. Датчик помещается в воздухопроницаемый корпус, называемый огневзрывопреградителем. В данной статье рассматривается возможность замены материала, идущего на изготовление огневзрывопреградителя. В основе существующего материала лежит никелевый порошок, его предлагается заменить на металлокерамическую связку. Состав керамического материала детали разработан авторами и приводится в статье. Замена материала приведет к существенному снижению стоимости детали и упрощению технологии изготовления.

Ключевые слова: газоанализатор, метан, огневзрывопреградитель, никелевый порошок, керамическая связка.

Ю. О. Филиппов, Е. Н. Еремин, Д. А. Седых, О. В. Кропотин

Особенности строения никелевого сплава; условия кристаллизации и выделения основных и избыточных фаз при модифицировании

В работе методами термического анализа установлено влияние модификации жаропрочных сплавов на основе никеля на кинетику кристаллизации сплавов. Такое воздействие выражается в повышении температуры солидуса и, как следствие, сужении интервала кристаллизации сплава, увеличении скорости роста твердого раствора и изменении температуры выделения эвтектических и упрочняющих фаз. В результате применение модифицирования тугоплавкими частицами позволяет оказывать дополнительное воздействие на структуру и свойства сплавов на основе никеля без дополнительной термической обработки.

Ключевые слова: жаропрочные сплавы, модифицирование тугоплавкими частицами, твердый раствор, эвтектика, кристаллизация.

А. Е. Корнеев

Устройство для исследования неравномерности вращения коленчатого вала

Темой статьи является выбор направления и реализация применения электронных средств измерений и контроля за рабочим процессом, происходящим в дизельном двигателе внутреннего

сгорания. С этой целью проведен анализ и разработано устройство, позволяющее контролировать неравномерность вращения коленчатого вала двигателя, содержащее фотоэлектронные датчики, один из которых позволяет считывать момент прохождения верхней мертвой точки, другой предназначен для контроля за угловой скоростью маховика. Устройство преобразует сигналы этих датчиков в форму, необходимую для визуализации рабочего периодического процесса на экране осциллографа. В статье приведены структурная схема устройства и его амплитудно-частотная характеристика. Данное устройство может быть использовано для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию систем подачи топлива в поршневых двигателях внутреннего сгорания.

Ключевые слова: топливовоздушная смесь, эффективность сгорания топлива, неравномерность вращения коленчатого вала, инфракрасные фотоэлектронные датчики, электронный частотомер.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

В. В. Харламов, Д. И. Попов, П. С. Соколов, Л. Е. Серкова

Экспериментальные исследования метода взаимной нагрузки асинхронных двигателей

В статье представлены результаты сопоставления экспериментальных исследований и математического моделирования работы стенда для испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки. Приведено детальное описание состава экспериментальной установки, основу которой составляют пара преобразователей частоты и подключенная к ним пара двигателей типа АИС71В4 номинальной мощностью 0,75 кВт, валы которых жестко соединены муфтой. Представлена математическая модель электромеханической системы, примененная при расчетах, и перечислены ее основные допущения. Приведены таблица значений параметров и графики, полученные по расчетным и экспериментальным данным. Анализ полученных данных показал возможность применения рассмотренной математической модели с имеющимися допущениями при проектировании электротехнических комплексов, предназначенных для испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, тяговый двигатель, испытательный стенд, преобразователь частоты, математическая модель, сопоставление результатов.

Д. В. Антоненков, В. З. Манусов, П. В. Матренин, В. Р. Киушкина

Адаптивное оптимальное управление системой накопления энергии генерирующего потребителя с возобновляемыми источниками энергии

Просьюмер может использовать накопители энергии для повышения выгоды от торговли электроэнергией за счет переноса моментов покупки и продажи. Повышение энергоэффективности рассматривается не с позиции всей системы, а с позиции отдельного просьюмера в условиях трудно прогнозируемой генерации ветровой электроэнергии. Цель данной работы — оптимизация электротехнического комплекса просьюмера с помощью разработки метода адаптации базы эвристических правил управления к параметрам просьюмера и климатическим условиям. Предложен метод адаптации управляющих правил с использованием алгоритмов роевого интеллекта. Проведенное компьютерное моделирование показало, что применение алгоритмов роевого интеллекта позволяет повысить экономическую эффективность управления системой накопления энергии просьюмера в 2–4 раза по сравнению с управляющими правилами, построенными экспертом вручную, и предлагаемый метод позволяет автоматизировать построение базы управляющих правил.

Ключевые слова: просьюмер, распределенная генерация, оптимальное управление, интеллектуальная энергосистема, система накопления электроэнергии, роевой интеллект.

Б. И. Косимов

Применение программного комплекса ANSYS для электромагнитного и теплового анализа электродвигателя привода пылеуловителя технологии изготовления бесшовных труб

В настоящее время металлургическое производство содержит большое количество морально и физически устаревшего электрооборудования, которое требует модернизации. Для его замены требуются большие капитальные затраты. По этой причине оно медленно внедряется, долго эксплуатируется с целью окупаемости, медленно выводится из производства. В связи с этим новое оборудование должно быть инновационным и по многим параметрам опережать существующий уровень развития отрасли. В статье предлагается такое решение для предприятия ПАО «Челябинский трубопрокатный завод». Для замены существующего коллекторного двигателя привода пильгерстана по производству бесшовных труб, который функционирует с 1928 года и находится в критическом состоянии, предлагается крупногабаритный тихоходный вентильный двигатель с большой встроенной инерционной массой, имеющий магнитную систему с постоянным магнитом и когтеобразными полюсами. Такое техническое решение для приводов этого класса в мире не применялось. Двигатель позволяет исключить существующий 120-тонный маховик, повысить надежность за счет бесконтактности токоподвода, снизить эксплуатационные затраты, исключив потери на возбуждение. Конструкция двигателя позволяет произвести его сборку без дополнительной технологической оснастки, что очень важно для крупных двигателей с постоянными магнитами. Для разработки уникального двигателя была создана проектная система, состоящая из подсистемы синтеза и подсистемы анализа. Подсистема синтеза реализует многоуровневую однокритериальную оптимизацию. В результате ее работы определяется оптимальная геометрия по выбранному критерию. Система анализа подтверждает достоверность расчета по упрощенным методикам оптимизации и окончательно снимает технические риски перед изготовлением промышленного образца. Она построена на основе хорошо отработанной для электрических машин САЕ системы Ansys Electronics Desktop и Ansys Icepak. Анализ имеет несколько этапов и включает в себя электромагнитный и тепловой анализ. Предлагаемая проектная система проверена на реальном проекте и внедрена в качестве расчета магнитного и теплового состояния с учетом динамической нагрузки в АО «Русские электрические двигатели».

Ключевые слова: пильгерстан, САЕ системы, синтез, анализ, тепловой анализ, вентильный электродвигатель, когтеобразные полюса, магнитная система, тангенциальные магниты, двухмерная модель, трехмерная модель.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

С. В. Бирюков

Трехкоординатный электроиндукционный датчик напряженности электрического поля в виде трех взаимно перпендикулярных дисков

Измерение параметров электрических полей, воздействующих на технические и биологические объекты немислимо без использования датчиков напряженности электрического поля. Точное измерение и контроль уровней напряженности электрического поля представляется довольно сложной задачей. Это связано с тем, что напряженность — это векторная величина, характеризующаяся не только модулем, но и направлением. Существующее большое многообразие датчиков напряженности различных форм (кубическая, цилиндрическая, сферическая), принципа действий (направленного и ненаправленного приема) и особенностей конструкции (корпусная, бескорпусная) не обеспечивают желаемых метрологических характеристик. Поэтому работа, связанная с разработкой датчиков напряженности электрического поля не стоит на месте и является актуальной. Целью исследования является создание бескорпусного трехкоординатного датчика напряженности электрического поля, расчет которого был бы прост как для корпусных, а простота конструкции и малая масса как у бескорпусных датчиков. Созданный в результате исследований датчик конструктивно представляет три взаимно перпендикулярных диэлектрических диска, основаниями которых являются проводящие чувствительные элементы. Датчик, в зависимости от желаемой погрешности, имеет различный пространственный диапазон измерения, причем чем больше погрешность, тем шире диапазон. Для погрешности измерения, не превышающей 10 %, максимально возможный пространственный диапазон измерения составит $a = 0,4$. Следовательно, минимально возможное расстояние до источника поля, при котором погрешность датчика не выйдет за пределы 10 %, составит $d = 2,5R$, где R — радиус диска датчика.

Ключевые слова: трехкоординатный датчик напряженности электрического поля, бескорпусной датчик напряженности электрического поля, дисковый датчик напряженности электрического поля, напряженность электрического поля, погрешность от неоднородности поля, электрометрические измерения.

В. В. Болотов, В. Е. Кан, Е. В. Князев

Изменение кристаллической структуры МУНТ под воздействием мощного импульсного ионного С:Н пучка

В работе методами спектроскопии комбинационного рассеяния света и просвечивающей электронной микроскопии исследована структура многостенных углеродных нанотрубок, подверженных воздействию импульсного мощного ионного пучка. Показано, что облучение ионным пучком генерирует существенные дефекты в структуре нанотрубок. С увеличением числа импульсов наблюдаются процессы, связанные с отжигом дефектов внутренней структуры образцов. Данные электронной микроскопии позволяют выделить два типа дефектов, приводящих к уменьшению межслоевого расстояния стенки углеродной нанотрубки.

Ключевые слова: просвечивающая электронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света, импульсное ионное облучение, мощные ионные пучки, многостенные углеродные нанотрубки.

В. В. Болотов, И. В. Пономарева, К. Е. Ивлев

Морфология макропор в n-Si, сформированных в NH₄F-содержащих растворах при фотоанодировании

Изучены особенности порообразования при фотоанодировании в электролитах на основе фторида аммония в зависимости от освещения, pH, плотности тока. При сравнении электролитов с различным pH (кислотным и щелочным) наблюдается уменьшение диаметра пор при одинаковом освещении и плотностях тока в щелочных растворах HF:NH₄OH при относительно равной скорости травления в глубину. В разбавленном HF:NH₄OH:H₂O при слабом освещении наблюдается прямое растворение кремния с образованием «звездчатой» морфологии пор и тенденции ветвления. В случае концентрированного раствора HF:NH₄OH 1:4 ветвление наблюдается при повышении плотности тока.

Ключевые слова: макропористый кремний, фотоанодирование, электронная микроскопия.

К. П. Латышенко, Т. Н. Нурмагомедов

Разработка алгоритма работы системы мониторинга водорастворимых оснований гидротехнических сооружений

В статье рассмотрены вопросы разработки работы системы мониторинга водорастворимых оснований гидротехнических сооружений на основе кондуктометрического метода контроля с применением специальных технических средств измерений. Представлена структура информационной системы мониторинга водорастворимых оснований гидротехнических сооружений. Выполнено математическое описание способа мониторинга на основе кондуктометрического метода контроля. Разработаны общий алгоритм работы информационной системы и алгоритм опроса кондуктометрических датчиков. Предложен адаптивный алгоритм опроса датчиков, позволяющий изменять период опроса в зависимости от уровня угрозы возникновения ЧС.

Ключевые слова: водорастворимое основание, информационная система, алгоритм, гидротехническое сооружение, кондуктометр, чрезвычайная ситуация.

Н. А. Давлеткильдеев, Е. Ю. Мосур, И. А. Лобов

Газочувствительные свойства индивидуальных углеродных нанотрубок, модифицированных ионным и электронным облучением

Измерены временные характеристики изменения сопротивления индивидуальных легированных азотом многостенных углеродных нанотрубок (N-МУНТ), исходных и облученных электронами, протонами и ионами аргона, при экспозиции в аммиаке и диоксиде азота. Установлено, что исходные N-МУНТ имеют проводимость n-типа, N-МУНТ, облученные протонами и ионами аргона обладают проводимостью p-типа, а облученные электронами — проводимостью n-типа. Определена относительная газовая чувствительность индивидуальных N-МУНТ, исходных и облученных ионами и электронами.

Ключевые слова: индивидуальные углеродные нанотрубки, электронное и ионное облучение, газовая чувствительность.

Н. А. Давлеткильдеев, Е. Ю. Мосур, Д. В. Соколов, И. А. Лобов

Изучение процесса переноса заряда в гетеропереходе полианилин/графит методом проводящей атомно-силовой микроскопии

Методом *in-situ* химической окислительной полимеризации анилина получены тонкие слои полианилина на поверхности высокоориентированного пиролитического графита. Методом проводящей атомно-силовой микроскопии измерены вольт-амперные характеристики контакта зонд/полианилин/графит, имеющие вид, характерный для туннельных контактов. На основе моделирования вольт-амперных характеристик с помощью модели Симмонса определена ширина потенциального барьера, которая для исследуемого гетероперехода составила 0,5 нм.

Ключевые слова: полианилин, графит, гетеропереход, проводящая атомно-силовая микроскопия, ширина потенциального барьера.

А. Г. Заводовский

Определение сухого остатка питьевой воды методом пьезокварцевого микровзвешивания

Сухой остаток воды с большой полнотой характеризует ее качество, так как содержит все примеси, в том числе и нелетучие органические вещества. Поэтому масса сухого остатка может характеризовать глубину очистки питьевой воды и является важным показателем ее качества. В настоящее время этот параметр определяется гравиметрическим методом. Определение массы сухого остатка этим методом требует значительного времени для проведения анализа и использования большой массы вещества. Этих недостатков лишены кварцевые микровесы, чувствительным элементом которых является кварцевый пьезорезонатор. Целью данной работы является оценка возможности использования метода пьезокварцевого микровзвешивания для экспресс-анализа качества питьевой воды. Применение этого высокочувствительного к массе метода (10^{-8} – 10^{-9} г) позволяет существенно уменьшить массу используемой для опыта воды и, соответственно, время проведения анализа, которое определяется временем испарения вещества. Для выполнения опытных исследований был создан экспериментальный модуль на основе кварцевого пьезорезонатора. С помощью калибровочных измерений определялся массочувствительный коэффициент микровесов. Для заданных условий эксперимента (температура 20 °С, давление 105 Па) он равен $C_f = (9,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-9}$ г/Гц. Для оценки возможности практического использования метода пьезокварцевого микровзвешивания были проведены исследования различных образцов питьевой воды и выполнен анализ полученных результатов. На основании опытных данных был рассчитан параметр X, который характеризует массу сухого остатка в литре воды. В ходе выполнения опытных исследований было установлено, что используемая в эксперименте водопроводная вода по величине параметра X является оптимально минерализованной, а ее очистка с помощью бытового фильтра незначительно уменьшает количество сухого остатка. При кипячении воды часть растворенных в ней веществ выпадает в осадок, но ее минерализация остается удовлетворительной. В процессе дистилляции величина сухого остатка значительно уменьшается и вода становится слабоминерализованной. Полученные в работе результаты согласуются с известными опытными данными. Таким образом, метод пьезокварцевого микровзвешивания можно использовать для определения сухого остатка питьевой воды при оценке ее качества в различных технологических процессах.

Ключевые слова: оценка качества воды, степень очистки, сухой остаток воды, пьезокварцевое микровзвешивание.

Е. В. Леун

Особенности схемотехники акустооптических лазерных систем для измерения трехкоординатных перемещений. Часть 1

Рассматриваются вопросы построения акустооптических (АО) лазерных измерительных систем (ЛИС) для контроля трехкоординатных (3D) движений с одним (1D) продольным Δx и двумя (2D) поперечными Δy , Δz смещениями. Обсуждаются особенности использования трехканальной измерительной схемы на основе систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с адаптивным управлением полос пропускания в зависимости от скоростей движения, призматической оптической схемы, преобразующей 2D в 1D поперечные смещения лазерного луча для 1D АО модулятора, оптического сопряжения последнего с волоконными фотоприемными устройствами.

Ключевые слова: акустооптический модулятор, лазерный интерферометр, фазовый сдвиг, фазовый интерполятор, фазометр, шумы сигнала, микролинза, оптическое волокно, межмодовая дисперсия, растр.

В. А. Сачков

Влияние атомов второй координационной сферы на фононную дисперсию алмаза

В рамках феноменологической модели двухчастичного взаимодействия рассмотрено влияние на дисперсию фононов энергии взаимодействия атомов из второй координационной сферы. Данный подход позволяет варьировать рост частоты фонона относительно оптического фонона в центре зоны Бриллюэна. Обсуждаются эффекты вклада в спектры комбинационного рассеяния света от продольных оптических фононов с частотами большими, чем их частота в центре зоны Бриллюэна. Получен в явном виде вклад в частоту взаимодействия атомов из второй координационной сферы для некоторых фононов. Полученные формулы будут полезны для расчета спектров комбинационного рассеяния света на оптических фононах, локализованных в нанокристаллах алмаза.

Ключевые слова: фонон, алмаз, нанокристалл, модель Китинга.

В. А. Сачков

Объединение дефектов типа вакансия в графеновой плоскости в кластеры и влияние вакансионных кластеров на морфологию и электронные свойства структуры

Работа посвящена изучению влияния на морфологию и на электронные свойства графеновой плоскости дефектов типа вакансия в виде вакансионного кластера, в зависимости от величины кластера. Найдены оптимальные конфигурации расположения атомов углерода для графеновой плоскости с вакансионных кластеров. Для них рассчитана зонная электронная структура. Расчеты произведены методом «ab initio». Произведен анализ зависимости морфологии структуры и некоторых параметров электронной структуры от величины вакансионного кластера. Полученные результаты применимы для анализа зонной структуры одностенных углеродных трубок, содержащих дефекты типа вакансия.

Ключевые слова: наносенсорика, углеродные нанотрубки, графен, зонная структура, точечные дефекты, «ab initio».

Ю. А. Стенькин, Д. В. Соколов, К. Е. Ивлев

Газочувствительность металлооксидных слоев на основе Co_xO_y , легированных ионами лития

В работе исследована газовая чувствительность оксидных слоев на основе оксидов кобальта и лития состава $\text{Li}_2\text{O}/\text{Co}_x\text{O}_y$ с различным соотношением исходных компонентов. Приведены условия синтеза оксидных композитов и анализ структуры полученных слоев с помощью сканирующей электронной микроскопии. Обнаружено, что при соотношениях исходных

компонентов 1:1 композиты проявляют селективность к формальдегиду, а при соотношении 3:2 — к диоксиду азота.

Ключевые слова: оксид кобальта, оксид лития, газовый отклик.

А. С. Брюхова, Н. В. Волкова, А. Ю. Кузьменко, А. А. Кузнецов

Определение химического состава на внутренних поверхностях полых железобетонных конструкций при воздействии коррозии

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению продуктов коррозии на поверхности железобетонных конструкций. Обсуждаются способы создания образцов с искусственной электрокоррозией в условиях, приближенных к реальной эксплуатации. Приведены результаты испытаний образцов с различной степенью коррозии с использованием приборов лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии (ЛИЭС). Испытание выполнено на двух различных приборах, установке ЛИЭС и портативном лазерном анализаторе американского производства LIBZ-300pe.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, дефекты коррозии, поверхность, лазерная спектрометрия, бетонный образец, лазерный анализатор, чувствительность прибора.