

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

В. С. Сердюк, А. М. Добренко, О. А. Цорина, Е. В. Бакико

Управление производственными рисками на объектах машиностроительного комплекса

С целью обеспечения безопасных условий труда в машиностроении необходимо развивать методы управления производственными рисками на рабочих местах.

В работе предложен инженерный подход на основе использования математических моделей определения вероятностей возникновения неблагоприятных событий на рабочих местах для разработки методологии количественной оценки производственных рисков для заданных технологических процессов (операций) на объектах машиностроительного комплекса. Использование математических моделей позволяет однозначно оценивать изменения параметров технологического процесса с точки зрения их влияния на факторы риска и таким образом управлять безопасностью технологических процессов и повышать безопасность на рабочих местах.

Ключевые слова: производственные риски, факторы риска, количественная оценка риска, математические модели определения вероятностей событий, управление безопасностью технологических процессов.

К. А. Вансович, И. П. Аистов, А. А. Нахлесткин, Д. С. Беселия

Оценка развития роста трещин в магистральном трубопроводе на основе упругопластической модели

Предложен метод прогнозирования роста поверхностных трещин в стенке магистрального трубопровода под действием эксплуатационных нагрузок. Описана упругопластическая модель роста поверхностных трещин при двухосном нагружении на примере стали 20. В программе ANSYS разработан алгоритм моделирования роста трещин с учетом остаточных напряжений. Определены формы и величины раскрытия трещин при изменяющихся циклах нагружения трубопровода. Установлена зависимость скорости роста трещин при изменяющихся нагрузках от напряженного состояния впереди вершины трещины. Исследовано влияние циклов перегрузки на рост трещин. Описана методика предсказания развития трещин по данным внутритрубной диагностики и мониторинга нагружения трубопровода.

Ключевые слова: поверхностная трещина, магистральный трубопровод, метод конечных элементов, скорость роста трещины, циклы перегрузки, коэффициент изменения средних напряжений, прогнозирование роста трещин.

Н. А. Райковский, В. А. Захаров

Численное определение коэффициента теплоотдачи в охлаждаемом серповидном зазоре самосмазывающегося подшипникового узла

В работе предложены методики численного и экспериментального определения коэффициента теплоотдачи, приведенного к поверхности серповидного канала самосмазывающегося подшипникового узла турбоагрегата. Методика численного исследования позволяет получить критериальные уравнения теплообмена, которые необходимы в инженерных методах проектирования самосмазывающихся подшипниковых

узлов. Результаты экспериментального исследования позволяют оценить адекватность предложенной численной методики. Расхождение значений коэффициентов теплоотдачи, полученных численным методом с применением модели thermal energy и в результате экспериментальных исследований, в среднем не превышает 7%. Выявлено существенное влияние массового расхода охлаждающей среды на коэффициент теплоотдачи. При этом значения коэффициента теплоотдачи в диапазоне исследований составили от 12 до 85 Вт/м². К.

Ключевые слова: численная методика, коэффициент теплоотдачи, физический эксперимент, самосмазывающийся подшипник, система охлаждения, серповидный зазор, температурное поле.

Н. А. Райковский, В. Л. Юша, А. В. Третьяков, В. А. Захаров, К. И. Кузнецов

Исследование температурных деформаций самосмазывающихся конических подшипников малоразмерных роторных агрегатов

Применение самосмазывающихся подшипниковых узлов конической формы, реализованных по схеме «ротапринтного» смазывания, перспективно в безмасляных малоразмерных турбоагрегатах для обеспечения заданного ресурса. При этом важным вопросом, особенно для микротурбин, является обеспечение требуемых температурных режимов и допустимых температурных деформаций. В работе предложена численная методика расчета конических подшипниковых узлов, реализованных по схеме «ротапринт» с различным количеством намазывающих элементов, которая учитывает взаимное влияние режимов работы турбоагрегата и системы охлаждения подшипника. Методика состоит из двух этапов: на первом определяются температурные поля, затем результаты переносятся в качестве исходных данных для второго этапа — определение полей температурных деформаций. Результаты расчета деформаций служат исходными данными для теплового расчета по скорректированным геометрическим размерам, таким образом выполняется итерационный расчет до требуемой сходимости. Выполнена апробация и приведены результаты анализа температурного состояния и температурных деформаций для различных углов конуса подшипникового узла при различном количестве намазывающих элементов применительно к подшипникам как со стороны компрессора, так и со стороны турбины при консольном их исполнении.

Ключевые слова: самосмазывающийся конический подшипник, малорасходный турбоагрегат, численная методика, тепловое состояние, температурные деформации.

Д. С. Реченко, Д. Г. Балова, А. К. Аубакирова, Р. У. Каменов, Д. Е. Левин

Определение геометрии режущего инструмента для мелкоразмерной обработки деталей из титановых сплавов

Требования к качеству изготовления имплантатов из титановых сплавов, применяемых в медицине, достаточно высоки. При этом существующие способы обработки при их изготовлении не всегда обеспечивают требуемое качество обработанных поверхностей, характеризующих шероховатостью и дефектами поверхностного слоя конечной детали. В статье предложены конструкции твердосплавного инструмента различной геометрической формы, позволяющие получать разные качественные параметры обработки. Целью исследований являются испытания новых конструкций концевой твердосплавной инструмента, позволяющие получать требуемые параметры качества крепежных элементов винта для остеосинтеза, обеспечивая минимальный дефектный слой. Для достижения

поставленной цели в работе решаются задачи: изготовление концевых твердосплавных режущих инструментов различных геометрических форм; проведение испытаний режущего инструмента при рекомендованных режимах резания; контроль шероховатости обработанной поверхности. Представлены результаты испытаний металлорежущих инструментов при обработке титанового сплава марки BT1-00, что является актуальным с точки зрения применения нового концевых твердосплавных инструментов.

Ключевые слова: мелкоразмерная обработка, твердосплавный инструмент, имплантат, титановый сплав, шероховатость обработанной поверхности.

И. К. Черных, Е. В. Васильев, Е. И. Ткаченко, А. С. Лукин, Д. А. Прошутинский, В. А. Валова, Е. А. Савва

Разработка приспособления для газовой защиты сварного шва при сварке трением с перемешиванием

Титановые сплавы широко применяются в таких отраслях, как судостроение, авиастроение, ракетостроение и т.д. Сварка трением с перемешиванием титановых сплавов является перспективным методом изготовления конструкций изделий данных отраслей. В процессе сварки температура может достигать 1200°C, при этом происходит активный процесс окисления, что приводит к дефектообразованию. Для исключения образования дефектов необходимо применять специальные приспособления, предназначенные для газовой защиты сварного шва. Конструкции существующих приспособлений для более распространенных методов сварки не предусмотрены для использования при сварке трением с перемешиванием. Целью исследования является разработка оптимальной конструкции приспособления для подачи защитного газа при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов. Были проведены эксперименты по сварке титановых сплавов с использованием разработанного приспособления. В результате эксперимента были получены качественные сварные швы с отсутствием следов окисления.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, фрикционная сварка, сварка титановых сплавов, сварка в среде защитных газов.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

В. Л. Кодкин, А. С. Аникин, А. А. Балденков

Спектральный состав тока ротора асинхронного двигателя — показатель его эффективности

В статье обоснована эффективность анализа токов ротора асинхронных электроприводов с частотным управлением. Предлагается использовать спектральный анализ этих токов, их основной гармоники как наиболее точное «отображение» скольжения в асинхронном двигателе — в качестве метода оценки качества генерации крутящего момента двигателя. Моделирование и эксперименты подтверждают предложенные теоретические положения. Эти эксперименты, демонстрирующие работу привода при низких нагрузках, соответствующих скольжению 3%, при нагрузке, близкой к номинальной, соответствующему скольжению 8–10%, убедительно продемонстрировали, что реализованный в стандартных преобразователях частоты (например, ATV, *Schneider Electric*) алгоритм формирования крутящего момента является не самым эффективным, в то же время было предложено конструктивное решение, которое улучшает динамику привода почти в два раза, делая его близким к динамике двигателей с постоянными магнитами. Это решение позволит использовать асинхронные электроприводы в точных технологиях.

Ключевые слова: асинхронный привод, ток ротора, спектральный анализ, формирование крутящего момента.

В. В. Федянин, П. С. Ячменев

Разработка и экспериментальные исследования источника питания электродуговых микродвигателей для корректирующих двигательных установок малых космических аппаратов

В статье рассмотрен источник питания, предназначенный для электродуговых микродвигателей корректирующих двигательных установок малых космических аппаратов. Источник имеет гальваническую развязку и обеспечивает высокую энергоэффективность при согласованной нагрузке. Конструкция содержит двухтактный преобразователь со средней точкой, который охвачен цепью обратной связи по выходному току. Включенная последовательно в цепь индуктивность сглаживает пульсации тока, сформированные широтноимпульсным модулятором. Отсутствие накопительного конденсатора в выходной цепи позволило обеспечить быстрый отклик для регулировки ширины импульса в соответствии с изменениями сопротивления нагрузки. Результаты экспериментов подтвердили теоретический расчет и моделирование. В режиме стабилизации тока выходная мощность источника составила 40–120 Вт при входном напряжении 12–18 В.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, силовая электроника, электродуговой микродвигатель, двухтактный преобразователь, хаотическая широтно-импульсная модуляция, дуговой разряд.

А. А. Балденков, В. Л. Кодкин, А. С. Аникин

Оценка динамики асинхронного привода по нелинейной передаточной функции. Коррекция нелинейности асинхронного электропривода

В статье изложены методы анализа динамических процессов в структурах, формирующих механический момент в асинхронных электродвигателях при частотном управлении. Впервые в передаточной функции формирователя момента учтены нелинейности механической характеристики асинхронного электродвигателя, которые выразились в зависимости этой функции от скольжения (отставании скорости вращения ротора от скорости вращения магнитного поля статора) и от частоты напряжения на статоре двигателя. Показано, как динамическая положительная обратная связь по току статора «линеаризует» асинхронный электропривод, не нарушая устойчивости переходных процессов. Данная работа является примером того, как исходная усложненная (но более точная!) интерпретация нелинейности позволила найти новое лучшее решение задачи управления сложным динамическим объектом.

Ключевые слова: электропривод переменного тока, математический анализ, динамическая нелинейность, частотная характеристика, динамическая коррекция, положительная обратная связь.

А. В. Симаков, В. В. Харламов, В. И. Скороходов

Разработка метода проверки комплексов цифровой релейной защиты электроэнергетических установок

Рассмотрены особенности применения цифровых устройств релейной защиты электроэнергетических установок. Дано техническое описание и представлены основные заключения по опытной эксплуатации полигона программно-технического комплекса «Цифровая подстанция». Предложен способ имитационного моделирования децентрализованной системы релейной защиты, осуществляющей связь между элементами по цифровым протоколам. Представленная модель учитывает особенности компоновки реального комплекса защит и может быть использована при проверке корректности функционирования действующих устройств, а также при построении алгоритмов для новых цифровых защит, соответствующих стандарту МЭК 61850.

Ключевые слова: цифровая подстанция, МЭК 61850, цифровой двойник энергосистемы, децентрализованная релейная защита, моделирование аварийных режимов.

Б. А. Косарев, В. К. Федоров

Модель электротехнической системы с распределенной генерацией

Статья посвящена разработке имитационной модели электротехнической системы с распределенной генерацией на примере электроснабжения жилых зданий. Существующие модели подобных систем обладают рядом недостатков: не представлены основные виды электроприемников, схемы замещения отдельных электроприемников некорректны, не приведен расчет параметров схем замещения электроприемников и других элементов электросистем, не описана методика измерения основных параметров электросистемы. В этой связи существует необходимость обобщения полученных ранее результатов и создания имитационной модели системы электроснабжения жилых зданий с распределенной генерацией, учитывающей вышеперечисленные недостатки.

Целью данной работы является разработка имитационной модели системы электроснабжения жилых зданий с распределенной генерацией, включающей основные виды электроприемников, описание расчетов параметров схем замещения электроприемников и других элементов электросистемы, рассмотрение методики измерения основных параметров электросистемы.

Результатом работы является создание имитационной модели системы электроснабжения шести жилых зданий в программном пакете Simscape PowerSystems (Matlab). Модель учитывает основные виды электроприемников жилого здания. В работе описан расчет параметров схем замещения электроприемников, линий электропередачи и силового трансформатора. Рассмотрена методика измерения основных параметров системы при помощи блоков U , I , P Measurement и Powergui. Приведены результаты измерений основных параметров системы.

Ключевые слова: распределенная генерация, имитационная модель, схема замещения электроприемника, линия электропередачи, силовой трансформатор, действующее значение напряжения и тока, активная и реактивная мощность, суммарный коэффициент гармонических составляющих.

Д. С. Положенцев, Д. Й. Джукич, Д. Н. Захаров

Система управления исполнительного электропривода устройства поворотного солнечной батареи космического аппарата

В работе рассмотрены вопросы создания системы управления исполнительного электропривода устройства поворотного солнечной батареи космического аппарата, отличающейся жесткими требованиями по отработке задаваемых угловых ускорений и скоростей вращения, при воздействии полезной нагрузки и возмущающих сил. Работа заключается в разработке системы управления, ее математическом описании, моделировании и изготовлении опытного образца устройства, отвечающего заданным техническим требованиям. В работе были применены методы математического и экспериментального исследования. Математическое моделирование системы проводилось средствами прикладной программы MATLAB/Simulink. В результате проделанной работы была предложена структурная схема системы управления исполнительного электропривода устройства поворотного солнечной батареи работающей следящей системы по заданному угловому положению, вычисленному необходимым для отработки заданных угловых скоростей и ускорений вращения образом. В статье представлены результаты математического моделирования работы исполнительного электропривода, а также приведены результаты, полученные при отработке заданной угловой скорости вращения реальным образцом устройства поворотного солнечной батареи. Произведен анализ и сравнение теоретических и практических результатов. Экспериментальное исследование продемонстрировало достижение цели при создании системы управления исполнительного электропривода, а также достаточно точное совпадение результатов моделирования и эксперимента. Предложенная система управления может быть использована при проектировании и создании устройств с аналогичными техническими требованиями.

Ключевые слова: исполнительный электропривод, устройство поворотное солнечной батареи, вентильный двигатель, система управления угловой скоростью, система управления угловым ускорением, обратная связь по углу.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В. А. Захаренко, В. В. Захаренко, М. Ю. Николаев, А. Г. Шкаев

Электроимпульсная очистка карнизов

Представлены результаты разработки автоматических устройств для удаления льда и наледей с карнизов зданий и сооружений, в которых реализована технология электроимпульсных преобразований электрической энергии в импульсную механическую силу. В одном из вариантов предложено в качестве источника электрической энергии использовать солнечную батарею, при этом представленные схемотехнические решения обеспечивают автономность ее работы в автоматическом режиме. Приведены результаты натурных испытаний устройства, подтвердившие эффективность его работы.

Ключевые слова: электроимпульсный преобразователь, электромагнитное взаимодействие, импульсная механическая сила, солнечная батарея, удаление льда.

Р. А. Ахмеджанов, В. Ф. Чегодаев, А. И. Чередов, А. В. Щелканов

Фазовый преобразователь перемещений

Рассматривается принцип построения многополюсного фазового преобразователя перемещений с бегущим полем с реализацией многофазной обмотки, расположенной в одной плоскости. Данный преобразователь обладает высокой эксплуатационной надежностью, технологичен в изготовлении и может монтироваться на криволинейные поверхности.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, информационная линейка, обмотка, магнитопровод, фаза, измерительный элемент.

Е. В. Леун, А. И. Чередов, Д. В. Сергеев, В. К. Сысоев

К вопросам построения струйно-капельных оптических измерительных систем: контроль электризации металлизированных полимерных пленок при автоматизированной лазерной перфорации

В статье исследуются струйно-капельные оптические измерительные системы (СКОИС) для контроля электризации изделий типа металлизированных полимерных пленок при лазерной перфорации. В статье показано, что основной причиной электризации пленок является удаление вещества лазерным импульсом с образованием в микрообъеме плазмы газообразного ионизирующего вещества, его небольшим осаждением на кромку перфорируемого отверстия при отсутствии контакта с металлизацией пленки.

Описан режим работы СКОИС с формированием монодисперсного когерентного заряжаемого капельного потока и видеорегистрацией траектории движения его заряженных капель вдоль центров перфорируемых отверстий вблизи пленки. Определены максимальные заряды перфорируемых отверстий пленки и движущихся капель и рассчитаны смещения от их взаимодействия. Определены требования к средствам видеорегистрации и обработки полученных стробоскопических микрофотографий.

Ключевые слова: перфорация, полимерная пленка, электростатический заряд, электризация, заряженная капля, капельный поток, видеорегистрация.

Д. Б. Пономарев, В. А. Захаренко, Е. В. Абрамова

Анализ погрешностей при пирометрических измерениях в производственных условиях

В статье представлен анализ неопределенностей, связанных с трудностями достоверного учета коэффициента излучения при бесконтактном измерении температуры в производственных условиях. Предлагаются практические рекомендации методического и инструментального характера по уменьшению погрешностей таких измерений. На основе функции Планка и математической модели коэффициента отражения алюминия получена аналитическая зависимость коэффициента излучения алюминия от температуры и длины волны. Произведены расчетные оценки методических погрешностей низкотемпературных пирометров со спектральными диапазонами чувствительности 7–14 мкм и 3–5,5 мкм. Экспериментальные исследования проведены с использованием пирометра Optris CT LT15 и тепловизора Flir E60.

Ключевые слова: пирометр, коэффициент излучения, методическая погрешность, инструментальная погрешность, калибратор, спектральное отношение.

А. А. Федотов, Ю. Г. Малиновский

О вероятности ошибки обнаружения несанкционированных воздействий на трубопровод активным виброакустическим способом контроля

Научным сообществом разработано множество способов обеспечения безопасности транспортировки нефтепродуктов автоматизированными средствами. Актуальной задачей является повышение эффективности идентификации вида несанкционированного воздействия на трубопровод и оценка вероятностей ошибок обнаружения нарушений. В работе представлены результаты экспериментальной оценки вероятностных характеристик обнаружителя на основе ранее предложенного активного виброакустического способа контроля. Получены значения информативных признаков в виброакустических сигналах в зависимости от размера локальной неоднородности и отношения сигнал/шум. Определена вероятность ошибки распознавания и необходимое количество накапливаемых сигналов для работы системы в дальней зоне. Сделан вывод о состоятельности предложенного алгоритма идентификации вида несанкционированного воздействия.

Ключевые слова: врезка в трубопровод, обнаружение нарушений на трубопроводах, вероятность ошибки идентификации, виброакустический способ контроля.

А. А. Федотов, Р. А. Ахмеджанов, А. А. Пятков

Модель колебаний трубопровода при несанкционированном воздействии

В статье представлена модель расчета упругих колебаний, фиксируемых на поверхности трубопровода в результате ударного воздействия. Использование эмпирической уточняющей характеристики совместно с аналитическим выражением позволило синтезировать сигнал, соответствующий несанкционированному воздействию на трубопровод. Приведена оценка адекватности предложенного решения путем сравнения расчетного сигнала с эмпирическим. Модели сигналов могут быть использованы для разработки и тестирования алгоритмов идентификации воздействий на трубопровод.

Ключевые слова: модель колебаний трубопровода, поперечные колебания трубопровода, ударное воздействие, несанкционированные подключения.

П. А. Вятлев, Е. В. Леун, Д. В. Сергеев, В. К. Сысоев

Контроль качества металлизированных полимерных пленок после автоматизированной лазерной перфорации

В статье обсуждаются вопросы контроля качества перфорированных лазерным излучением металлизированных полимерных пленок, используемых в изготовлении матов экранно-вакуумной тепловой изоляции (ЭВТИ) космических аппаратов. Описаны конструкция, принцип действия и режим работы автоматизированного лазерного перфоратора.

Показано, что к наиболее важным эксплуатационным параметрам перфорированных пленок ЭВТИ следует отнести прочность и пылевыделение. Экспериментальными исследованиями показано, что лазерная перфорация, обеспечивая высокую прочность, уменьшает разброс по этому параметру для разных образцов пленок ЭВТИ по сравнению с аналогичными показателями ручной механической перфорации. При измерении профиля кромки перфорируемого отверстия определены оптимальные геометрические параметры зоны нагара кромки отверстия, состоящей преимущественно из углерода.

Экспериментально подтверждено, что лазерная перфорация не приводит к увеличению пылевыделения пленок ЭВТИ.

Ключевые слова: волоконный лазер, лазерная перфорация, абляция, металлизированная полимерная пленка, пылевыведение, экранно-вакуумная тепловая изоляция, космический аппарат.

В. И. Киринос, А. В. Зубарь, Э. А. Гейнце

Совершенствование системы внутреннего целеуказания для современных и перспективных объектов бронетанкового вооружения

В статье дан краткий анализ существующих способов внутреннего целеуказания, применяемых на существующих образцах бронетанкового вооружения. Предложен способ внутреннего целеуказания и индикации целей, основанный на математическом описании взаимосвязи между координатами изображения объекта в поле зрения прицела и его трехмерными координатами во внешней (мировой) системе координат.

Ключевые слова: целеуказание, цифровое изображение, прицел, цифровая видеокамера, бронетанковое вооружение.

А. С. Голосной

Гидрооптика для экологического мониторинга морских акваторий

В статье описана разработка прибора, позволяющего определить значение показателей ослабления и прозрачности водной среды — прозрачномера. Задачами данного исследования являются: разработка математической модели прибора, создание образца и получение практических результатов. Разработанный прозрачномер может быть использован при проведении океанографических научных исследований, в сфере морской биологии и поисковых операций с использованием подводных аппаратов. При разработке нового способа измерения прозрачности водной среды используются лазерные технологии. Проведенные расчеты с применением математического моделирования позволили определить оптимальную частоту излучения лазерной системы подводного видения, минимизировать показатели ослабления водной среды, что дает направление работ по созданию эффективного прозрачномера. Испытания в реальных условиях эксплуатации показали соответствие теоретических и экспериментальных результатов.

Ключевые слова: экологический мониторинг, прозрачность, гидрооптика, водная среда, лазерный прозрачномер.