

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

**Л. Г. Варепо, Л. В. Боярникова, Е. В. Леонгардт**

Системный подход к решению проблемы обучения персонала на основе использования методологии 8D

В статье рассматривается порядок управления несоответствиями на примере элемента «Обучение персонала», входящего в процесс «Менеджмент ресурсов» с применением методологии 8D. Разобран случай выявления коренной причины проблемы, возникающей при дистанционном обучении для работников предприятий закрытого типа; разработаны корректирующие и предупреждающие действия. Проведен расчет оценки результативности и составлена форма отчета по методологии 8D.

**Ключевые слова:** методология 8D, FMEA-анализ, управление рисками, обучение, корректирующие действия, предупреждающие действия.

**С. В. Корнеев, С. В. Пашукевич.**

Влияние гранулометрического состава дисульфида молибдена на смазывание подшипников качения

В работе были проведены лабораторные испытания по оценке износа подшипников качения на машине трения СМЦ-2 в зависимости от гранулометрического состава (до 1 и до 7 мкм) и концентрации дисульфида молибдена, добавленного в базовое промышленное масло И-ГТ-А-100 (И-50А), производимое по ГОСТ 20799-2022. В ходе проведения испытаний были получены численные значения состояния износа четырех подшипников, обозначено среднее значение. Определены зависимости концентрации дисульфида молибдена с гранулометрическим составом до 1 и до 7 мкм от уровня износа и средней температуры подшипника при проведенных испытаниях.

**Ключевые слова:** смазочные материалы, подшипники качения, пластичные смазки, дисульфид молибдена, гранулометрический состав, промышленное масло.

**В. А. Короткий, Е. А. Усманова**

Бикубическая ленточная поверхность

Бикубической лентой называют вытянутую вдоль оси  $Ox$  поверхность постоянной ширины, образованную набором прямоугольных в плане бикубических порций, соединенных между собой с гладкостью  $C1$  (непрерывность градиента между порциями) или  $C2$  (непрерывность кривизны). Каждая порция ограничена кубическими параболой, лежащими в вертикальных плоскостях  $x=\text{const}$ ,  $y=\text{const}$ . В статье представлены алгоритмы расчета бикубической ленты, основанные на использовании уравнений граничных кривых в качестве основных граничных условий. В качестве дополнительных граничных условий принимаются условия «плоские углы». Предлагаемый подход позволяет уменьшить размер характеристической матрицы системы линейных уравнений относительно коэффициентов, входящих в уравнения бикубических порций. Например, расчет 16 коэффициентов уравнения бикубической порции, проходящей через фиксированные граничные кривые, сводится к решению системы четырех линейных уравнений. Сформулированы (в виде теорем) критерии гладкого соединения бикубических порций. В теореме 1 сформулированы и доказаны условия непрерывности градиента. Теорема 2 содержит условия непрерывности кривизны. Представлены примеры расчета и визуализации  $C1$  и  $C2$ -гладких ленточных поверхностей, состоящих из двух или трех бикубических порций.

**Ключевые слова:** бикубическая порция, кубическая парабола, условия гладкости, градиент, плоские углы, закрепленные концы.

### **Ф. Н. Притыкин, И. С. Кузнецов.**

Геометрическое моделирование процессов выполнения подкопочных работ экскаватором с целью предотвращения повреждения стенки трубопровода

При управлении движением ковша экскаватора оператор управляет поступательными перемещениями в гидроцилиндрах, которые в общем случае являются независимыми. Однако обеспечение движения режущей кромки ковша по заданной траектории (например, по горизонтальной прямой) требует от оператора определенных навыков и дополнительной концентрации внимания. Это значительно влияет на утомляемость оператора при проведении указанных работ. В этом случае актуальным становится решение проблемы разработки автоматизированной системы управления, позволяющей осуществлять расчет изменения углов поворота во вращательных шарнирах манипулятора экскаватора, обеспечивающих заданное движение ковша. Оператор при этом может указывать только начальные и целевые точки траектории и направление движения ковша. В статье на основе исследования геометрических объектов пространства приращений обобщенных координат разработан алгоритм, позволяющий выполнять моделирование движения точек ковша экскаватора с заданным удалением от верхней кромки ремонтируемого трубопровода. В качестве геометрических объектов исследованы положения плоскостей и их пересечения, которые заданы линейными системами уравнений, отражающими взаимосвязь приращений обобщенных координат механизма манипулятора от скоростей выходного звена ковша экскаватора. Исследованы положения указанных геометрических объектов для различных положений механизма манипулятора экскаватора и различных значений скоростей выходного звена. Приведены результаты компьютерного моделирования движения манипулятора экскаватора.

**Ключевые слова:** плоскости пространства приращений обобщенных координат, геометрическое моделирование, синтез движения, механизм манипулятора экскаватора, ремонт трубопроводов, компьютерное моделирование движений, выходное звено.

### **К. В. Сызранцева, Н. А. Василега**

Оценка вероятности отказа при эксплуатации сборного режущего инструмента со сменными многогранными пластинами методами непараметрической статистики

В статье рассмотрены вопросы стойкости сборного режущего инструмента в процессе обработки металла резанием, а также риск потери его работоспособности. В ходе оценки вероятности отказа инструмента при нарушении установленного критерия износа используются результаты производственного эксперимента при черновой обработке детали «Вал» из прутка диаметром 58 мм из сплава ХН77ТЮР. Обработка детали велась сборным режущим инструментом со сменными многогранными пластинами круглой и квадратной формы, имеющими по типу специальное исполнение из сплавов: ВК6м, ВК8 и Т15К6. Для оценки полученных результатов и описания их распределения авторами используется критерий согласия Шапиро–Уилка для проверки корреляции между исходными данными и соответствующим предположением об их нормальном распределении. Так как полученные данные производственных испытаний не подчиняются нормальному закону распределения, для дальнейшего анализа применяется непараметрический метод Парзена–Розенблатта.

**Ключевые слова:** сборный режущий инструмент, сменные многогранные пластины, работоспособность, вероятность отказа, критерий согласия Шапиро–Уилка, непараметрическая статистика, метод Парзена–Розенблатта, функция плотности распределения.

### **Д. И. Чернявский, Д. Д. Чернявский**

Исследование упругопластического изгиба листовой заготовки различной толщины при ее вальцевании

В работе проводится анализ технологического процесса вальцевания листовой заготовки для получения цилиндрической обечайки большого диаметра. Анализ проведен на основе прочностных расчетов упругопластического изгиба листовой заготовки с учетом эффекта пружинения. Вычисление пружинения осуществлялось на основе имеющихся соотношений

энергии пластических и упругих деформаций, формирующихся в материале листовой заготовки. Сделаны выводы и приведены практические рекомендации, которые можно использовать в процессе настройки технологических параметров вальцовочных станков.

**Ключевые слова:** цилиндрические оболочки, упругие и пластические деформации, радиус кривизны, энергия формирования упругих и пластических деформаций, технологические параметры вальцевания.

#### **В. Ю. Юрков.**

Аппроксимация двумерных множеств точечными конфигурациями

В статье рассматриваются плоские точечные множества, обладающие иерархической структурой, и решение задачи аппроксимации плоской точечной конфигурации некоторой «идеальной» конфигурацией. Заданное множество представляет собой размытый, деформированный, искаженный образ или множество случайных реализаций неизвестного «идеального» образа. Заданное множество и его аппроксиманта должны обладать схожими иерархическими структурами. Структура аппроксимирующей конфигурации определяется априори. Аппроксимация осуществляется методом наименьших квадратов при условии указания соответствия элементов структур. Аппроксимирующими преобразованиями являются линейные преобразования. В статье описываются преобразования подобия, как наиболее общие.

**Ключевые слова:** точечное множество, конфигурация, аппроксимация, линейные преобразования, расстояние.

#### **К. В. Аверков, Д. С. Макашин**

Использование технического зрения в гибких производственных системах для определения координат беспорядочно расположенных объектов

Статья посвящена разработке алгоритма определения координат и ориентации объектов с помощью технического зрения с использованием языка программирования Python и библиотеки компьютерного зрения OpenCV. В статье представлена программа, позволяющая установить координаты объекта, произвольно расположенного в области видимости камеры, а также определить его ориентацию. Эти данные позволят выполнить эффективный захват объекта схватом манипулятора. В современном машиностроении задачи такого рода являются достаточно актуальными, они позволяют повысить автономность гибких производственных систем и сделать производство более безопасным.

**Ключевые слова:** гибкая производственная система, промышленный робот, техническое зрение, распознавание объектов, координаты объекта, ориентация схвата.

#### **Ж. А. Назарова**

Перспективы развития графической подготовки студентов технических вузов

В данной статье рассматривается возможность развития графической подготовки студентов технических специальностей в области информационного моделирования (ВІМ-технологии). В настоящее время во всем мире ВІМ- технологии являются неотъемлемой частью строительной индустрии, идет процесс внедрения в Российской Федерации для поддержания конкурентоспособности застройщиков как на внутреннем рынке, так и при строительстве за границей. Параллельно с внедрением в сфере строительства встречаются попытки адаптации информационного моделирования в других сферах промышленности. На фоне этого возрос спрос на специалистов в сфере информационного моделирования; сотрудникам приходится переучиваться не только работать с новым программным обеспечением, но и уходить от индивидуального творчества отдельных сотрудников или отделов к коллективной работе над одним проектом одновременно всеми сотрудниками со своих рабочих мест (возможно, даже из разных городов и стран). Параллельно с этим идет создание различных программных продуктов в сфере информационного моделирования как в России, так и за рубежом. Большинство из них

изначально направлены на строительство, но также встречаются адаптационные варианты для других сфер деятельности.

В связи с этим возник вопрос актуальной графической подготовки современных специалистов: сейчас мало научить студентов создавать чертежи с помощью САПР и читать проектно-конструкторскую документацию, но необходимо сразу готовить студентов к коллективному творчеству, ответственности перед коллективом за внесенные в проект изменения, а самое главное — показать принципы работы в программном продукте для информационного моделирования.

**Ключевые слова:** высшее образование, геометро-графические дисциплины, инженерная графика, компьютерная графика, BIM-технологии, информационное моделирование.

### **В. Ю. Соломин, Л. О. Штриплинг**

Использование метода анализа иерархий при выборе пылеочистительного оборудования литейного производства

Одна из самых неблагоприятных операций с точки зрения пылеобразования в литейных, как конвейерного типа, так и серийного и индивидуального производства, — это выбивка опок. На этих участках наблюдается самая высокая среди работающих в литейном цехе общая заболеваемость. Для удаления газов и пыли от выбивных решеток устанавливаются механические отсосы, насыщенный пылью воздух с которых требует дальнейшей пылеочистки перед выбросом в атмосферу. Наибольшее распространение в системах очистки таких производств получили циклоны, но выбор самих пылеуловителей представляет собой нетривиальную задачу и требует системного подхода. В данной статье рассматривается метод подбора и расчета пылеочистительного оборудования на примере пыли литейных производств на основе метода анализа иерархий.

**Ключевые слова:** очистка пыли, литейные производства, метод анализа иерархий, подбор пылеуловителя, параметры пылеуловителя, локальные векторы критериев, вектор глобальных приоритетов.

### **К. А. Шумилов, Ю. А. Гурьева**

Пластичные формы архитектуры в Dynamo-Revit и Grasshopper-Rhino-Archicad

В статье представлены результаты исследования по работе со связками Dynamo-Revit и Grasshopper-Rhino-Archicad при создании пластичных архитектурных форм сложной геометрии. В качестве моделей для исследования были выбраны объекты Лотос, Навес, Параметрический павильон, Параметрическая кирпичная стена, Малая архитектурная форма, Беседка, Балочная конструкция. Для представленных архитектурных объектов были выбраны наименее ресурсоемкие ноды и их связки, позволяющие оптимально использовать возможности программ и не перегружать ресурсы компьютера. Кратко описаны сценарии, разработанные в программах Dynamo и Grasshopper для создания представленных моделей. Приведены созданные скрипты, использованные для работы с моделями. Кратко проанализированы возможности программ Dynamo и Grasshopper для визуального (параметрического) программирования. Изучены некоторые возможности работы их связок с Revit и Archicad соответственно. Была проанализирована двусторонняя работа пакетов Dynamo-Revit и Grasshopper-Rhino-Archicad для импорта-экспорта модели, в том числе при изменении кода для корректировки модели. Целесообразно продолжить работу в этом направлении, чтобы получить более лаконичные и универсальные алгоритмы (цепочки узлов), позволяющие варьировать исходные данные и варианты формы пластических архитектурных объектов.

**Ключевые слова:** параметрическое программирование, визуальное программирование, Dynamo, Revit, Grasshopper, Archicad, Rhino, моделирование, сложная геометрия.

### **А. В. Князев, Ю. Ю. Черемухина**

Нормативно-методическое обеспечение стандартизации технологии блокчейн

В статье приведены сведения о состоянии вопроса в области стандартизации развития и применения технологии распределенного реестра и блокчейн. Проанализировано текущее состояние в области разработки нормативных документов, в том числе документов по стандартизации. Отражен международный опыт разработки документов по стандартизации на примере международной организации по стандартизации и международного союза электросвязи, а также опыт разработки документов в национальной системе стандартизации на примере технических комитетов по стандартизации. Разработаны рекомендации к применению технологии распределенного реестра и блокчейн в национальной системе стандартизации.

**Ключевые слова:** информационные технологии, блокчейн, информационная безопасность, стандартизация, национальные стандарты в цифровых форматах, умные стандарты, SMART-стандарты.

**Ю. С. Яковлева, А. Н. Бирюков**

Моделирование физических характеристик теплоаккумулирующих строительных материалов

В статье рассматриваются результаты исследований физических характеристик теплоаккумулирующих строительных материалов.

Современные тенденции в производстве и использовании материалов определяют необходимость разработки новых научно-методических аппаратов оценки физических характеристик энергосберегающих строительных материалов, которые позволят значительно улучшить свойства материалов, снизить их стоимость и повысить качество и надежность конструкций и изделий. В качестве такого аппарата авторами предлагается применение математической модели, статистическим описанием экспериментальных данных которой является линейная регрессия.

В качестве входных параметров системы выбраны исходные вещества для формирования микрокапсулированного теплоаккумулирующего материала, а выходными характеристиками являются зависимые переменные (удельная теплота фазового перехода, предел прочности на сжатие).

По результатам экспериментальных исследований и с помощью программы DataFit построены зависимости выходных параметров от доли составных компонентов материала. Проведена оценка адекватности математической модели F-критерием Фишера, значимость коэффициента множественной корреляции — по t-критерию Стьюдента. Определены составы материала с наилучшими физическими характеристиками.

**Ключевые слова:** теплоаккумулирующие материалы, микрокапсулы, математическая модель, физические характеристики, уравнение регрессии, критерий Фишера, критерий Стьюдента.

**А. А. Сычева, А. М. Плаксин**

Функционально-воксельный алгоритм итерационной композиции сложных контуров

Аналитическое представление наиболее точно передает геометрию моделируемых объектов, однако его применение сопряжено с рядом сложностей. В частности, R-функциональное моделирование предъявляет высокие требования к квалификации исследователя и может потребовать значительное время для построения моделей в силу рекурсивной вложенности вычислений. Рассмотрено применение особенностей функционально-воксельных моделей для упрощения R-функционального моделирования сложных контуров. В качестве основного инструмента итерационного моделирования сложных контуров, в том числе параметрических кривых, предложена Функция Локального Обнуления. Описан способ определения отрицательной области ФЛОБ-конструированных моделей контуров для дальнейшего построения сложнопредикатных функций посредством R-функциональных операций.

**Ключевые слова:** функционально-воксельное моделирование, ФЛОБ, ФЛОБ-конструирование, функционально-воксельная арифметика, R-функциональное моделирование, сложная предикатная функция, моделирование сложных контуров, моделирование параметрических функций.

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**В. В. Харламов, Ю. В. Москалев, А. Ю. Милютин, А. П. Попов**

Оптимизация величины неравномерного воздушного зазора синхронной машины с постоянными магнитами на роторе

В статье предложен подход к определению неравномерного воздушного зазора синхронной машины с призматическими постоянными магнитами на роторе, при котором распределение нормальной составляющей магнитной индукции вдоль внутренней окружности сердечника статора имеет форму, близкую к синусоидальной. Расчет магнитного поля модели электрической машины с заданными геометрическими размерами и свойствами материалов элементов выполнен в программе FEMM. Для решения оптимизационной задачи использован метод Хука–Дживса, ограничения учитывались методом штрафных функций. В результате моделирования магнитного поля электрической машины с рассчитанным оптимальным неравномерным воздушным зазором получена кривая распределения нормальной составляющей магнитной индукции вдоль внутренней окружности статора, среднее отклонение которой от синусоидальной кривой составило 4,8 %.

**Ключевые слова:** электрическая машина, постоянный магнит, магнитное поле, воздушный зазор, оптимизация.

**Е. Б. Королева, С. М. Курмашев, К. К. Ким, А. А. Ткачук, А. А. Кузнецов**

Устройства экспресс-диагностирования силовых полупроводниковых приборов и полупроводниковых преобразователей

Увеличение мощности силовых полупроводниковых преобразователей, эксплуатируемых в железнодорожной отрасли, связано с использованием в них групповых соединений силовых полупроводниковых приборов, разброс в параметрах которых, а следовательно, их неодинаковая нагрузка, обуславливает снижение надежности работы силовых полупроводниковых преобразователей в целом. Из-за этого возникает необходимость в разработке и внедрении инновационных методик и устройств экспресс-диагностирования с целью выявления потенциально ненадежных полупроводниковых приборов, причем выполнение технического диагностирования не должно быть связано с демонтажом электрических цепей преобразователей. Предлагается методика определения потенциально ненадежных силовых полупроводниковых приборов в групповых соединениях по результатам анализа распределения обратных токов в параллельных ветвях, позволившая создать серию устройств диагностирования силовых полупроводниковых приборов в преобразователях как с резисторами связи, так и без них. Методическая погрешность измерений, выполненных с помощью разработанных устройств экспресс-диагностики преобразователей, не превышает нормативную величину, равную 10 %.

**Ключевые слова:** полупроводниковый прибор, экспресс-диагностирование, обратный ток, резисторы связи, аналогово-цифровой преобразователь, методическая погрешность измерения.

**А. Р. Петров, Е. И. Грачева**

Моделирование потерь мощности в контактных системах низковольтных коммутационных аппаратов

В статье проведено исследование зависимостей величины потерь активной мощности в контактах и контактных системах автоматических выключателей, контакторов и магнитных пускателей от основных параметров электрооборудования. Разработаны модели функциональных зависимостей активных потерь от номинального тока для низковольтных коммутационных аппаратов некоторых заводов-изготовителей. Составлены аппроксимирующие функции данных характеристик и рассчитаны величина коэффициента детерминации полученных функций активных потерь и ошибка аппроксимации. Представлены графические зависимости исследуемых параметров низковольтной аппаратуры.

**Ключевые слова:** низковольтные коммутационные аппараты, контактные соединения, потери мощности, аппроксимирующие функции, конструктивные особенности.

## ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ

**С. В. Бирюков**

Исследование электроиндукционного дискового датчика напряженности электрического поля

Задачи, связанные с защитой биологических и технических объектов от воздействия электрических, являются актуальными. Одна из таких задач связана с разработкой датчиков напряженности электрического поля с заданными метрологическими характеристиками. Целью исследования является минимизация погрешности известного датчика и расширения его пространственного диапазона измерений за счет рационального выбора чувствительных элементов. Предложенный в работе датчик имеет отрицательную погрешность  $\delta$  от неоднородности поля по модулю, не превышающую 3 % в пространственном диапазоне измерения  $0 \leq a \leq R$ , где  $R$  — радиус дискового основания датчика. Для обеспечения требуемых метрологических характеристик датчика были подобраны рациональные размеры его чувствительных элементов. При этом рациональный радиус  $r$  чувствительных элементов, выполненных в форме круга, должен удовлетворять условию  $r < R$ , т.е. должен быть меньше радиуса  $R$  дискового основания датчика. При выполнении этого условия меньшему радиусу  $r$  чувствительного элемента будет соответствовать меньшая погрешность  $\delta$  от неоднородности поля и больший пространственный диапазон измерения. В сравнении с известными датчиками, при одинаковой погрешности, предложенный датчик имеет пространственный диапазон измерения примерно в пять раз больше. Такой подход к выбору чувствительных элементов позволяет проектировать датчики с лучшими метрологическими характеристиками.

**Ключевые слова:** электрическое поле, однородное поле, неоднородное поле, точечный источник, напряженность, дисковый датчик, погрешность от неоднородности поля, электрометрические измерения.

**С. С. Колмогорова, С. В. Бирюков**

Использование электроиндукционного датчика для отслеживания подвижных и неподвижных объектов наблюдений

В статье реализуется пространственная модель отслеживания траектории с использованием динамических параметров положения объекта, а также траектории движения источника электрического поля. Результаты моделирования показывают высокую точность при оценке взаимосвязи между составляющими электрического поля и изменением положения. Результаты хорошо согласуются с результатами анализа методом конечных элементов. Также используется соотношение между ошибкой измерения составляющей электрического поля, горизонтальным углом, углом места и точностью отслеживания для анализа эффективности отслеживания. Кроме того, метод может быть совмещен с пространственно-временными координатами, и в таком случае конфигурация адаптируется под текущие условия при сохранении максимальной эффективности системы оценки в целом и позволяет прогнозировать изменения положения объекта как источника поля.

**Ключевые слова:** электрометрические измерения, электрическое поле, трехкоординатный электроиндукционный датчик, подвижные объекты.