

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ПО ЗАХВАТУ ОБЪЕКТОВ ИЗ ВИДЕОПОТОКА БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ СУЩНОСТЕЙ

А.Н. Юров, М.В. Паринов

Аннотация: рассмотрены алгоритмические решения библиотеки компьютерного зрения, которые позволяют отслеживать объекты по захвату некоторой фрагментной области в видеопотоке. Перечислены дополнительные программные библиотеки, набор которых необходим для создания программного решения на основе ядра Linux. Рассмотренные вспомогательные библиотеки не требовательны к аппаратной части вычислительных систем и могут быть установлены на микрокомпьютеры типа Raspberry Pi, Orange PI, FriendlyARM, NVIDIA Jetson. Кроме того, приведена структура проектного решения в виде диаграммы классов с описанием функциональных методов в ней. На основе предложенной структуры классов, и опираясь на реализацию алгоритмов в библиотеке компьютерного зрения, было создано приложение, в котором производится захват и удержание объекта в видеопотоке с выводом координат изменения объекта в процессе движения указанного объекта. Работа приложения была протестирована на некотором предварительно подготовленном видеопотоке, а также в реальном времени на произвольных объектах. Выявлены неточности в работе приложения, связанные с типовыми алгоритмами захвата и удержания объектов без предварительного обучения. Подготовлена кроссплатформенная структура приложения на основе программного средства автоматизации сборки программного обеспечения из исходного кода, позволяющая обеспечить простой, а также единый интерфейс управления, и подготовить процесс установки и сборки пакетов. Разработка подготовлена для использования в операционной системе Linux Manjaro на базе 64-х разрядной архитектуры, однако с использованием генератора автоматизированной системы сборки проектов можно подготовить реализацию программы для ОС Windows

Ключевые слова: слежение за объектом, библиотека компьютерного зрения, алгоритмы распознавания сущностей, программные системы с открытым исходным кодом

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

АНАЛИЗ ГРАФОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ

Д.Р. Никольский, В.Ф. Барабанов, Н.И. Гребенникова, С.А. Коваленко, А.М. Нужный

Аннотация: в современном информационном обществе обработка данных стала важным инструментом для принятия обоснованных решений и достижения успеха во многих областях деятельности. Для хранения данных используют разные виды систем управления базами данных (СУБД), каждая из которых обладает своими уникальными функциями, преимуществами и вариантами использования. Графовые СУБД предлагают большое количество инструментов и методов анализа и обработки данных. Был произведен обзор графовой СУБД Neo4j, мультимодальных СУБД Virtuoso и ArangoDB, с поддержкой графовой модели данных и графовой СУБД Memgraph. Каждая из СУБД обладает своим рядом особенностей и преимуществ при использовании. Были освещены основные свойства каждой из этих СУБД и приведены основные сценарии их использования. Рассмотрены преимущества и недостатки существующих предложенных на рынке СУБД и предпосылки к разработке метаграфовой СУБД. Предлагается модель данных для разрабатываемой СУБД и архитектура ее программного обеспечения, включая некоторые особенности ее реализации на уровне хранилища объектов. Разработанная модель предполагает оптимальное моделирование сложных процессов и обработку больших объемов сложных сетевых данных

Ключевые слова: графовые СУБД, графовая модель данных, Neo4j, Virtuoso, ArangoDB, Memgraph, метаграф, метаграфовая СУБД

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

А.К. Муконин, В.А. Трубецкой, Д.А. Тонн

Аннотация: показано, что исследование частотного электропривода целесообразно выполнять на основе математического моделирования, также предложены простые модели для анализа среднечастотных процессов в преобразователе частоты. Проведен анализ решателей Simulink и реализуемых ими численных методов расчета систем дифференциальных уравнений при математическом моделировании частотных электроприводов. Установлено, что при математическом моделировании систем электропривода, электротехнических комплексов и систем целесообразно применять решатели с переменным шагом. В частотных электроприводах часто используются преобразователь частоты, содержащий трёхфазный диодный мост, конденсаторный фильтр и трёхфазный мостовой автономный инвертор напряжения. При трёхфазном напряжении питания преобразователя частоты 380-400 В фильтр реализуется на основе последовательно соединённых конденсаторов. Также можно отметить, что в случае необходимости упомянутые преобразователи частоты можно питать однофазным напряжением 220-230 В, подав его между любой из входных клемм трёхфазного диодного моста и общей точкой соединения конденсаторов фильтра. Проведенное математическое моделирование электропривода свидетельствует о том, что при однофазном питании возможно обеспечение номинального режима работы электродвигателя и приемлемой перегрузочной способности. Результаты математического моделирования подтверждаются экспериментальной проверкой возможности питания однофазным напряжением привода с преобразователем частоты

Ключевые слова: математическое моделирование, численный метод расчета, решатель, преобразователь частоты, трехфазный мост, частотно-регулируемый электропривод

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ИНТЕРАКТИВНОГО МАКЕТА ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

М.Ю. Сергеев, А.С. Багно, А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова

Аннотация: рассмотрен подход к разработке интерактивного макета жилого здания с применением программного средства Unity. Этапами разработки являются: трехмерное моделирование, уточнение функциональности строительных объектов, интерактивность (взаимодействие с заказчиком), меблировка, визуализация результата с применением анимации и динамических эффектов. Рассмотрена методика применения интерактивных 3D-моделей для создания и визуализации макетов жилых зданий. Применение данного подхода обеспечивает возможность исследовать здание с различных ракурсов, изменять дизайн в режиме реального времени и использовать результаты проектирования в различных форматах, включая презентации и веб-сайты. Интерактивный макет здания позволяет принимать обоснованные решения на ранних этапах проектирования и обеспечивает новые средства визуализации и оценки данных решений. Рассмотрены функциональные возможности интерактивного макета здания и типовые действия по выбору компонентов оформления внутренних помещений. Предложены этапы разработки интерактивной модели здания. Преимущества использования интерактивной 3D-модели включают улучшенную визуализацию и контроль качества решения на ранних этапах проектирования строительных объектов. При взаимодействии с заказчиком на основе анализа смоделированного помещения можно улучшить цветовые решения, компоновку мебели, включая взаимодействие с окружающей средой и удобство использования

Ключевые слова: интерактивный макет здания, программные средства проектирования объекта

ПРОГРАММА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ЭТИЛБЕНЗОЛА

О.Г. Неизвестный

Аннотация: рассмотрено специализированное программное приложение, предназначенное для исследования и прогнозирования динамики системы предиктивного управления процессом дегидрирования этилбензола в производстве стирола. Программа имеет модульную структуру. По совокупности выполняемых функций и опций, приложение относится к классу многофункциональных программных средств. Программное обеспечение является инструментом для проведения имитационного моделирования и параметрического синтеза динамических систем в рамках концепции модельно-ориентированного проектирования. Предоставленные пользователю инструменты позволяют выполнить следующие этапы модельно-ориентированного проектирования автоматизированных управляющих систем: моделирование объекта управления; построение горизонтов прогноза изменения параметров состояния процесса; параметрический синтез регулирующего устройства; моделирование системы управления; сравнительный анализ результатов моделирования систем, реализующих пропорционально-интегрально-дифференциальный закон управления, и управление на базе предиктивного регулятора с помощью прогнозирующих моделей; формирование и непрерывное пополнение информационной базы возможных динамических сценариев протекания процессов при различных настройках MPC-регулятора. Предусмотрено два режима работы приложения, что позволяет использовать его функционал в проектных организациях для научных исследований, инженерных расчетов действующих лабораторных и промышленных установок дегидрирования этилбензола. Также оно может быть использовано в качестве компьютерной обучающей программы для цикла профессиональных дисциплин направлений подготовки обучающихся в высшей школе, связанных с автоматизацией управления в технических системах и цифровизацией химико-технологических процессов

Ключевые слова: дегидрирование этилбензола, программное обеспечение, имитационное моделирование, параметрический синтез, предиктивное управление

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БПЛА

В.А. Малиновкин, Н.В. Валуйских, В.Ф. Барабанов, М.Н. Аралов, А.В. Барабанов

Аннотация: область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) всё больше расширяется. Они способны выполнять такие задачи, как доставка грузов, поиск пропавших, мониторинг и определение незаконных действий, проведение измерений уровня радиаций, температуры, взятие проб материалов для их анализа. Следует отдельно упомянуть, что БПЛА вносят свой вклад в спасательные операции, тушение пожаров, орошение полей и в военные действия. Рассмотрены основные функциональные возможности беспилотных летательных аппаратов, такие как высокое качество аэрофотосъемки, точное определение геопозиции, удаленное управление устройством. Определены следующие недостатки БПЛА: отсутствие функционала или наличие функционала с низкой точностью по проведению маршрута и его корректировки в зависимости от внешних факторов, потеря удалённого управления при утрате связи с дроном или поломкой камеры. Был произведён обзор интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе машинного обучения, глубоких сетей, Байесовских сетей и теории игр. Представлена сравнительная характеристика по ключевым параметрам: базовая принадлежность, необходимость обучения, время на обучение, точность, производительность, главные задачи при использовании и структура, объяснение выбора Байесовских сетей для решения поставленной задачи. Также в статье были предложены решения по устранению ранее упомянутых недостатков. Система принятия решений на базе Байесовской сети способна обрабатывать несколько источников данных, таких как информация о проложенном пути, информация от второстепенных источников с координатами труднодоступной местности и информация с распознанных изображений; а также способна принимать решение о дальнейшем передвижении. Такая реализация способна не только решить обозначенные проблемы, но и повысить показатель отказоустойчивости в системе управления БПЛА

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, система принятия решений, машинное обучение, глубокие сети, теория игр, Байесовские сети

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Г.В. Петрухнова, М.Г. Усачев, Е.В. Попова

Аннотация: объектом исследования являются особенности автоматизации процессов тестового контроля работы конечных автоматов. Конечный автомат используется в качестве модели цифрового устройства или программного модуля. Операция тестового контроля – это информационная операция, при которой на одни контакты конечного автомата подаётся совокупность входных сигналов, а с других контактов снимаются реакции на эти сигналы. Тест контроля представлен бинарной матрицей и формируется генератором псевдослучайных чисел. При этом используется технология тестирования взвешенными псевдослучайными наборами. Вес входа – это частота подачи единичного логического сигнала на вход конечного автомата. Тестовый контроль конечного автомата осуществляется на основе заданного весового вектора. Разработанный программный продукт позволяет определить вес входа путем решения задачи оптимизации распределения вероятностей входных сигналов на основе обобщенного энтропийного критерия. Программный продукт позволяет управлять объектами тестирования, задавать вес для каждого входа конечного автомата, выбирать критерий оптимизации весового вектора из числа заданных, указывать параметры процесса оптимизации, проводить тестовый контроль конечных автоматов на основе заданного весового вектора, сохранять информацию об объекте тестирования, сохранять информацию о ходе тестового контроля и оптимизации, просматривать результаты тестового контроля и хода оптимизации. Представлен интерфейс программного продукта. Программный продукт может быть использован для исследования процессов оптимизации тестов и тестового контроля различных автоматных моделей

Ключевые слова: конечный автомат, энтропия, бинарная матрица, цифровое устройство, программный модуль, тестовый контроль

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА БАЗЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА

Д.А. Баранов, М.А. Белых, В.Ф. Барабанов, Н.И. Гребенникова, В.Н. Черников

Аннотация: описывается программная реализация линейной оптимизации на базе муравьиного алгоритма. Актуальность использования природных алгоритмов связана с необходимостью параллельной обработки данных, с возможностью создания искусственных биологических систем для решения сложных задач. Алгоритм включает в себя создание колонии муравьев, формирование ими путей поиска, исходя из феромонов, оставленных другими муравьями, или случайным образом. Структура и функциональность алгоритма реализованы в виде отдельных объектов разрабатываемой системы (классов). Также предоставлено математическое описание различных аспектов алгоритма, таких как вероятностная функция выбора пути, обновление сил феромонов и пр. Приведена визуализация работы алгоритма, а в частности, движение муравьев между итерационными шагами работы алгоритма в процессе поиска оптимального решения. В заключении приведен сравнительный анализ с некоторыми имеющимися модулями, представляющими собой реализации других эвристических алгоритмов, подходящих для решения задачи линейной оптимизации. В качестве перспектив развития программных реализаций вычислений можно отметить направление, связанное с объединением различных видов природных вычислений в одной системе: муравьиный алгоритм во многом схож по характеристикам с пчелиным, что позволяет выбирать более сильные стороны одного из них

Ключевые слова: линейная оптимизация, муравьиный алгоритм, природные алгоритмы, эвристические алгоритмы, роевой интеллект

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРМОЭЛЕМЕНТЕ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ЛАМИНАРНЫМ ПОТОКОМ

О.А. Дорохова, И.Л. Батаронов, Т.А. Надеина, Н.А. Ююкин

Аннотация: в рамках модели усредненных физических параметров термоэлектрического материала исходя из уравнений термоэлектрического переноса получено граничное условие третьего рода для конечно-элементного моделирования теплопереноса в ламинарном потоке жидкости, нагреваемой термоэлектрическим элементом. Условие включает в себя температурно-зависимое слагаемое, обуславливающее эффект «саморазогрева» термоэлемента и характеризуемое специфическим термоэлектрическим критериальным параметром, квадратично зависящим от плотности электрического тока в термоэлементе. На основе теории подобия установлен общий вид решения для температурного поля в жидкости, а также его предельный случай для тонкого теплового пристеночного слоя. Показано, что решение зависит только от двух критериальных параметров – числа Пекле и термоэлектрического критериального параметра. Методом численного конечно-элементного моделирования на сетке из 1,5 млн узлов получены температурные профили по поверхности термоэлемента в диапазоне изменения числа Пекле $250 \div 8000$ и термоэлектрического параметра $0 \div 2,0$. Полученные профили аппроксимировались линейной комбинацией кубической корневой и линейной функций с точностью не хуже 0,5%. Сформулировано условие применимости данной аппроксимации. Применением нелинейного преобразования системы координат и регрессионного анализа получены аналитические аппроксимации для коэффициентов линейной комбинации в зависимости от критериальных параметров, что определяет унифицированную функцию распределения температуры на термоэлементе. Обсуждается применение полученных результатов для оптимизации функционирования термоэлектрического охладителя

Ключевые слова: теплопередача, термоэлектрические охладители, температурное поле, метод конечных элементов, критериальные параметры.

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПОДГОТОВКА НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДЕТЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

П.Ю. Гусев, В.В. Сокольников, В.В. Ветохин, А.А. Агеев

Аннотация: дано понимание термину машинного зрения как специфичной части машинного обучения. Рассмотрены предпосылки и направления развития архитектур нейронных сетей. Описаны задача детекции и особенности подготовки набора данных для различных задач детекции. В качестве примера прикладного применения машинного зрения рассматривается система управления беспилотным аппаратом. Целью выступает повышение точности системы управления беспилотным аппаратом на основе машинного зрения путем совершенствования методов обработки исходной информации и разработки методики подготовки набора данных для обучения нейронной сети. Решаются задачи выбора архитектуры нейронной сети, выбора метрик оценки качества обучения, выбора гиперпараметров настройки модели, экспериментальное исследование наборов данных для обучения модели. Описана методика формирования набора данных для обучения модели и описаны основные этапы сбора информации. Представлены метрики, используемые в экспериментальном исследовании наборов данных для обучения модели машинного зрения. Выбрана архитектура нейронной сети, обеспечивающая решение прикладной задачи управления беспилотным аппаратом. В результате проведения экспериментов получены данные, позволяющие сделать выводы о правилах формирования наборов данных для подобного типа прикладных задач

Ключевые слова: машинное обучение, детекция объектов, машинное зрение, набор данных, классификация, нейросеть

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ДАННЫХ БЕЗ ПОТЕРЬ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ

М.С. Войтенко, А.С. Войтенко, В.В. Сафронов, В.Н. Черников, М.Н. Аралов

Аннотация: представлено исследование современных алгоритмов сжатия данных без потерь в составе программных решений. Современные программные решения предлагают не только традиционные методы сжатия информации путём математических вычислений, но и сжатие посредством использования нейронных сетей. Актуальность проведённого исследования обусловлена потребностью в эффективном снижении объёма данных, что способствует экономии ресурсов, пропускной способности, а также повышению производительности систем. Приведено краткое описание современных и актуальных программных решений для сжатия данных без потерь, приведены результаты тестирования различных программных решений для сжатия текстовой информации на основе набора данных enwik8 с указанием времени компрессии и декомпрессии данных, конечного объёма, коэффициента сжатия и применяемых в ходе тестирования входных аргументов. Также приведена таблица со сравнительными характеристиками функциональных возможностей программных решений и алгоритмов сжатия, которые используются по умолчанию в данных решениях. Отдельно выделены программные решения, которые имеют возможность многопоточной обработки, шифрования, архивации. Перечислены программные решения, имеющие аппаратную поддержку GPU, и в основе которых используются нейросетевые модели

Ключевые слова: современные алгоритмы сжатия данных, сжатие данных без потерь, программы для сжатия данных без потерь, нейронные сети, машинное обучение

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ СФЕРЫ НЕНЬЮТОНОВСКИМ ПОТОКОМ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

В.С. Купцов, А.А. Катрахова

Аннотация: построена математическая модель, в которой рассматривается обтекание неподвижной сферы неньютоновским стационарным потоком несжимаемой жидкости. Для построения этой модели были использованы ранее полученные результаты решения задачи об обтекании сферы потоком вязкой несжимаемой жидкости при малых числах Рейнольдса. Для решения этой задачи использовалась сферическая система координат для уравнений в частных производных (в напряжениях) и уравнение неразрывности данного течения. В качестве неньютоновской жидкости рассматривалась жидкость с нелинейными компонентами скоростей деформаций (дилатантная жидкость и псевдопластики). С учетом нелинейности поля деформаций данного течения жидкости вычислены компоненты поля напряжений. Рассмотрен частный вариант решения данной задачи, который совпадает с классическим вариантом (обтекание сферы ньютоновским стационарным потоком вязкой несжимаемой жидкости). Также получены аналитические формулы для компоненты силового воздействия неньютоновской жидкости на неподвижную сферу. Формулы реализуются для конкретных неньютоновских жидкостей аналитически или численно, в зависимости от вида жидкости. Частный случай данного результата совпадает с формулой для силового воздействия ньютоновской жидкости на сферу, совпадает с классической формулой Стокса

Ключевые слова: математическая модель, уравнения в частных производных, сфера, сферические координаты, стационарный поток, неньютоновская несжимаемая жидкость

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПОДЛЕЖАЩИХ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОКАНАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСТОРИИ КОНТРОЛЯ

А.Г. Студеникин, А.Б. Токарев, И.С. Фаустов

Аннотация: контроль радиообстановки в нелицензируемом диапазоне частот 2,4 ГГц осложняется его совместным использованием источниками радиоизлучений (ИРИ) различных стандартов. Основой распознавания ИРИ могут служить идентификационные признаки, содержащиеся в радиосигналах, однако их извлечение требует выполнения сравнительно трудоёмкой демодуляции сигналов. Кроме того, большинство стандартов предполагает параллельное использование нескольких радиоканалов, а потому полный контроль радиообстановки требует параллельной работы совокупности демодуляторов для каждого из интересующих стандартов, что сопряжено с высокими затратами аппаратных ресурсов при реализации обработки на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). Для повышения эффективности радиоконтроля необходимо предложить для каждого из стандартов алгоритм выбора подключаемого к демодулятору радиоканала, обеспечивающий идентификацию максимально широкого набора ИРИ при реализации в аппаратуре лишь единственного демодулятора для каждого из стандартов. Предложена методика выбора каналов, подключаемых к демодуляторам, основанная на создании и актуализации истории контроля. Базирующийся на этой методике алгоритм, предназначенный для реализации на ПЛИС, позволяет повысить эффективность сбора данных о радиообстановке при проведении радиоконтроля. Внедрение разработанного алгоритма в аппаратуру радиоконтроля позволяет уменьшить время сбора данных о радиообстановке на 29...56 % в сравнении с более простыми алгоритмами

Ключевые слова: радиоконтроль, обнаружение сигналов, идентификация сигналов, ПЛИС

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ СПЕКТРАЛЬНО-ЭФФЕКТИВНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ФАЗОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ

С.С. Печников

Аннотация: известно множество методов разделения каналов (сигналов), однако на практике наибольшее распространение получили методы с линейным разделением. Для увеличения эффективности работы цифровых средств связи стоит рассмотреть возможности использования систем, реализующих принципы частотного и временного разделения сигналов одновременно с фазовым разделением. В статье рассмотрен способ повышения энергетической эффективности сигналов, формируемых при осуществлении фазового разделения каналов. Проведен анализ метода фазового разделения каналов, применение которого ограничено в силу того, что ортогональность переносчиков обеспечивается за счет фазового сдвига на $\pi/2$ между ними. Этот способ обеспечивает практически устойчивую работу только при двухканальной передаче. Кроме того, сигналы фазовой модуляции с увеличением позиций сигнального созвездия увеличивают количество скачков амплитуды, что ведет к существенному изменению формы огибающей и делает невозможным осуществление высокоэффективного нелинейного усиления. Исследована возможность применения формирователей спектрально-эффективных радиосигналов для генерирования канальных сигналов с целью осуществления их линейного усиления в нелинейных усилителях мощности. В качестве канальных сигналов использованы два сигнала квадратурной амплитудной модуляции на одной несущей частоте. Проведен анализ формирования группового сигнала с фазового разделения каналов, а также осуществлено моделирование в системе автоматизированного проектирования. Получены сигнальные созвездия результирующих групповых сигналов с фазовым разделением каналов. Установлено, что наиболее эффективным является использование канальных сигналов с различными индексами фазовой модуляции. Используя различные значения индексов фазовой модуляции, количество канальных сигналов, входящих в групповой сигнал, можно увеличить до четырёх

Ключевые слова: многоканальные системы связи; фазовое разделение каналов, нелинейный усилитель; сигнальное созвездие; фазовый дисбаланс; огибающая сигнала. сигнальное созвездие

РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ ПАТЧ-АНТЕННА НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛАЗМЫ

И.А. Баранников, С.М. Фёдоров

Аннотация: в статье рассматривается конструкция реконфигурируемой патч-антенны, способной динамически менять свои рабочие частоты. Изменение рабочих частот антенны осуществляется посредством изменения размеров ее проводящей поверхности с помощью полупроводниковой плазмы, формируемой поверхностными PIN-диодами. Рассматривается конструкция PIN-диода, применяемого в антенне, который способен формировать плазму. Производится математическое моделирование его параметров. По полученной концентрации электронов $5 \cdot 10^{18} \text{ 1/см}^3$ рассчитана плазменная частота, определяющая взаимодействие плазмы с электромагнитными волнами различных частот. Полученные PIN-диоды предлагается объединять в массивы для увеличения площади создаваемой проводящей поверхности и уменьшения влияния цепей питания на характеристики излучения антенны. Характеристики антенны получены посредством электродинамического компьютерного моделирования для двух режимов работы: когда на диоды не подается напряжение и плазма отсутствует; и когда на диоды подано положительное напряжение и сформированная плазма образует дополнительные проводящие поверхности. Рабочие частоты антенны расположены в диапазоне СВЧ (сверхвысоких частот) и составляют 18.46 ГГц и 20.02 ГГц, также получены графики возвратных потерь антенны, ее КПД (коэффициент полезного действия) и диаграммы направленности для обоих случаев работы. Результаты показали незначительное ухудшение характеристик антенны при включенной плазме, но полученная возможность динамически менять рабочий диапазон частот является значительным преимуществом

Ключевые слова: патч-антенна, реконфигурируемая антенна, полупроводниковая плазма, плазменная антенна

АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОНСТРУКЦИИ ПЛАНАРНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В МОДУЛЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

А.В. Башкиров, И.С. Бобылкин, А.А. Кузёмкин

Аннотация: применение планарных изделий в современных модулях электропитания – тенденция мировых лидеров в области силовой электроники. Причины перехода с традиционных моточных изделий заключаются в конструктивных и технологических решениях, принимаемых при разработке и проектировании планарных устройств. Так, например, правильно выполненный трансформатор определяет эффективность и высокий коэффициент полезного действия (КПД) любого импульсного источника питания (ИИП). Трансформатор в планарном исполнении, на первый взгляд, исключает возникновение проблем на операции сборки в связи с простотой конструкции. Однако проблемы могут возникнуть на других этапах производства: тестирование модуля, испытания при разных температурных режимах и других операциях, где определяют электрические параметры изделия. В данной статье выявлены причины проблем несоответствия электрических характеристик, проведен анализ вероятности нежелательных потерь при неблагоприятных результатах сборки модуля. С помощью моделирования сложных объектов, подобных трансформатору, можно определить потенциальные риски при эксплуатации изделия, а также предугадать поведение всей функциональной части модуля электропитания. Поэтому с целью подтверждения изменяющихся характеристик планарного трансформатора проведены моделирования в современной системе автоматизированного проектирования (САПР) ANSYS и программной среде FEMM. В статье также обнаружены закономерности изменения магнитных характеристик трансформатора в зависимости от расположения сердечников относительно друг друга

Ключевые слова: планарный трансформатор, модуль электропитания, импульсный режим, магнитопровод, магнитная индукция, магнитный поток, коэффициент связи

К ВОПРОСУ О МАКЕТИРОВАНИИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

А.Е. Рудь, Л.Э. Черноиванов, И.А. Арзамасцев, А.В. Гречишкин

Аннотация: при проектировании устройств диапазонов ультравысоких (УВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ) зачастую необходимо иметь возможность оперативно уточнять результаты расчетов. Такую возможность может предоставить макетирование в лабораторных условиях. Важным вопросом при этом является степень соответствия расчетных параметров параметрам полученного макета, что определяет применимость того или иного способа лабораторного макетирования. В рамках данной работы дается качественная оценка применимости одного из способов макетирования. Рассматриваемый способ заключается в том, что топология микрополоскового фильтра наносится на фольгированный диэлектрический материал по технологии фотолитографии в лабораторных условиях с сопутствующими погрешностями, а удаление лишней меди с заготовки производится с помощью химического травления. Для качественной оценки применимости указанного способа в рамках данной работы с его применением в лабораторных условиях был изготовлен макет микрополоскового полосового фильтра 5-го порядка топологии Hairpin. Были проведены измерения параметров изготовленного макета: геометрические размеры и амплитудно-частотная характеристика фильтра (АЧХ). Приведены рисунки, демонстрирующие расчетный фильтр, макет и увеличенные под микроскопом микрополосковые резонаторы. На основе сравнения расчетных геометрических параметров и расчетной АЧХ с соответствующими параметрами полученного микрополоскового полосового фильтра сделана качественная оценка применимости данного способа макетирования

Ключевые слова: микрополосковый фильтр, полосовой фильтр, макетирование

ДВУХДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА-ПЛАВНИК ДЛЯ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА

И.С. Бобылкин, Е.А. Ищенко, С.М. Фёдоров, М.В. Паринов, В.И. Николаев

Аннотация: рассматривается конструкция двухдиапазонной антенны-плавник для реализации системы связи с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) самолетного типа. Предлагаемая антенна имеет форму плавника с двумя «крыльями», которые выступают в роли излучателей. Благодаря использованию двух излучателей разной формы удалось реализовать систему связи двух диапазонов 840-876 МГц и 1280-1378 МГц. Благодаря тому, что антенна построена на основе планарной технологии, удалось значительно упростить конструкцию, минимизировать профиль, как аэродинамический, так и геометрический, а также сохранить высокую эффективность антенны. Полученная антенна имеет широкий главный лепесток диаграммы направленности, при этом обладает высоким уровнем коэффициентом направленного действия, так как корпус БПЛА используется в роли рефлектора антенны. Полученная антенна обладает коэффициентом направленного действия (КНД) в 7.67 дБ в нижнем диапазоне рабочих частот и 5.99 на верхних частотах рабочего диапазона. Все основные характеристики антенны были получены на основании моделирования, а также был исследован аэродинамический профиль антенны. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность предлагаемой конструкции, а также перспективность применения антенн-плавников на БПЛА самолетного типа

Ключевые слова: антенна-плавник, антенна для БПЛА, двухдиапазонная антенна, системы связи с БПЛА

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

КОНСТРУКЦИЯ ЛИНЗЫ РОТМАНА С ОСНОВНОЙ ВОЛНОЙ МАГНИТНОГО ТИПА ДЛЯ МНОГОЛУЧЕВОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ КУ-ДИАПАЗОНА

Ю.Г. Пастернак, В.А. Пендюрин, Д.К. Проскурин, К.С. Сафонов

Аннотация: в последние годы фазированные антенные решетки становятся ключом решения задачи создания высокоскоростных наземных терминалов глобальной спутниковой связи. Для того, чтобы удовлетворить требованию высокой пропускной способности, наземный терминал должен передавать/принимать спутниковый сигнал с высокой направленностью и электронно-управляемым главным лепестком, способным отслеживать спутники, расположенные вблизи линии горизонта. Для этого необходимо использование фазированных антенных решеток с несколькими тысячами элементов, что создает большие проблемы, с точки зрения проектирования антенной системы, ее серийного производства и высоких материальных затрат. В данной статье представлена волноводная линза Ротмана с основной магнитной волной волноводного типа H_{10} , где использование волноводной волны основного магнитного типа в теле линзы Ротмана и в линиях задержки позволяет существенно уменьшить потери мощности (по сравнению с коаксиальными кабелями), что дает возможность существенно повысить коэффициент полезного действия пассивных фазированных антенных решеток с линзой Ротмана, кроме того, запитка тела линзы прямоугольными волноводами с соседними широкими стенками дает возможность увеличить число входов и выходов линзы Ротмана

Ключевые слова: линза Ротмана, волноводная линза Ротмана

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СЛЕПОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИНЕЙНОГО БЛОЧНОГО КОДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАСКАДНОЙ СЕТИ

А.В. Башкиров, М.В. Хорошайлова, А.С. Демихова

Аннотация: большая часть алгоритма кодирования для слепого распознавания кодов с низкой плотностью проверки четности (LDPC) сложна в применении, и проблема высокой временной сложности и высокой пространственной сложности не может быть решена. Предложенная здесь архитектура объединяет сеть на основе трансформатора со сверточной нейронной сетью (CNN). CNN используется для подавления шума в режиме реального времени, за которым следует нейронная сеть на основе трансформатора, предназначенная для определения скорости и длины LDPC кодов. Предполагается использование данной архитектуры в схеме кодирования для каналов связи между беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и пользователями. Чтобы обучать сети с шумоподавлением и сети распознавания с высокой производительностью, создаем наборы данных и определяем функции потерь для сетей с шумоподавлением. Результаты моделирования показывают, что эта архитектура способна обеспечить лучшую производительность, чем стандартный метод, при более низком соотношении сигнал/шум (SNR). По сравнению с существующими методами этот подход является более гибким и, следовательно, может быть быстро применен в канале связи между БПЛА и пользователем

Ключевые слова: кодирование с распознаванием вслепую, низкоплотностный код, сверточная нейронная сеть, уменьшение шума, канал связи

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОХОЖДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СРЕД РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В СИСТЕМАХ СОТОВОЙ СВЯЗИ

И.С. Киреев, И.В. Зубарев, В.Л. Бурковский, А.И. Панина

Аннотация: при разработке систем сотовой связи, а также систем специальной радиосвязи на уровне проектного решения расчет и анализ процессов распространения радиоволн являются передовой задачей, поскольку даст возможность в первом приближении выбрать приемопередающие устройства и ретрансляторы, а также выбрать тип антенн или предъявить требования для разработки данного оборудования. При проектировании систем связи, применяемых в районе с относительно предсказуемым рельефом местности, имеет место использование простых моделей, которые способны дать приближенную оценку эффективности организации связи. В случае, если имеется более сложная область распространения радиоволн, необходимо применять более совершенные методы анализа, учитывая рельеф местности, плотность, высоту застройки. Приводится анализ коэффициентов прохождения и отражения электромагнитных волн на границе раздела сред применительно к системам сотовой связи. Анализ проводится на основе представления векторов напряженности магнитного и электрического поля своими комплексными амплитудами, поскольку данный метод позволяет применять правила работы с комплексными числами, что упрощает задачу. По полученным результатам можно судить о траектории падения электромагнитной волны на поверхность и выбрать оптимальное направление

Ключевые слова: системы сотовой связи, радиосвязь, коэффициент прохождения, коэффициент падения, среда распространения

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

М.А. Ромащенко, Д.В. Васильченко, Д.А. Пухов

Аннотация: проведен обзор современного состояния задач, связанных с повышением помехоустойчивости каналов связи беспилотных авиационных систем (БАС) с применением подходов на базе искусственного интеллекта. Проанализированы основные подходы к применению систем на основе искусственного интеллекта (ИИ) для обнаружения и фильтрации помех, оптимизации маршрутов полетов с учётом электромагнитной обстановки и реакции на непредвиденные возмущения спектра. Были выявлены следующие основные направления исследований, представляющие интерес для использования в БАС: адаптивные системы связи, изменяющие параметры в реальном времени (модуляция, полосы, центральные частоты и др.); оценка угрозы электромагнитных помех на основе свёрточных нейронных сетей; введение дополнительных устройств анализа спектра для одновременной оценки информации о состоянии сигнала и отслеживания возникающей искусственной помехи; применение антенных систем с фазированными антенными решетками; применение ИИ для управления многоканальной передачей данных и автоматического переключения между каналами; подавление источников радиопомех группой беспилотных летательных аппаратов с применением ИИ; прогнозирование электромагнитной совместимости для динамической линии передачи данных беспилотного летательного аппарата. Комплексное применение различных подходов, адаптированных под конкретные задачи применения, позволит качественно повысить уровень систем связи в БАС

Ключевые слова: канал связи, электромагнитные помехи, электромагнитная обстановка, искусственный интеллект, беспилотные авиационные системы

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И МЕТОДИКА МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИЗДЕЛИЙ ФИРМЫ DJI

М.В. Паринов, В.В. Ветохин, С.М. Фёдоров

Аннотация: выполнен анализ систем управления, связи и управления полезной нагрузкой промышленных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на примере продукции DJI, показаны их достоинства и недостатки. Рассмотрены наиболее значимые для практического применения варианты полезной нагрузки. Представлены характеристики каналов связи, рассмотрены вопросы защищенности от электромагнитных помех и надежности шифрования передаваемых данных. Описана проблема безопасности, связанная с раскрытием координат летательного аппарата и оператора. Показаны методы и варианты модернизации с целью устранения недостатков. Значительное внимание уделено программным интерфейсам, позволяющим расширить и изменить функциональность БПЛА без вмешательства в микропрограмму летательного аппарата. Выполнен анализ содержания и практической ценности наиболее значимых из них, показаны методики работы с ними. Рассмотрены специальные контроллеры для управления функциями БПЛА, описаны схемотехнические решения и методы их взаимодействия с летательными аппаратами. В частности, рассмотрено создание специального пользовательского контроллера, позволяющего добавлять дополнительный интерфейс на стандартный пульт БПЛА для управления модулем спутниковой навигации и многофункциональными сбросами. По результатам выполненных и опубликованных работ сделаны соответствующие выводы

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, каналы связи, контроллеры управления полезной нагрузкой, модернизация, программные интерфейсы, защита данных, сбросы, управление навигацией

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ИЗ ДВУХЗАХОДНЫХ СПИРАЛЕЙ АРХИМЕДА, ВОЗБУЖДАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ШТЫРЕЙ СВЯЗИ, ПОГРУЖЕННЫХ В ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ВОЛНОВОД

Ю.Г. Пастернак, В.А. Пендюрин, Д.К. Проскурин, К.С. Сафонов

Аннотация: растущий спрос на широкополосные мультимедийные услуги побуждает авиационную отрасль в ближайшем будущем предоставлять услуги двунаправленной бортовой связи. Гражданские самолеты в настоящее время оснащаются терминалами высокоскоростной спутниковой связи. До настоящего времени терминалы спутниковой связи разрабатывались для L- и Ku-диапазонов частот. С учетом тенденций развития технологий широкополосных мультимедийных приложений возникла необходимость использования более высоких частот, в частности, частот Ka-диапазона, где может быть обеспечена требуемая пропускная способность. Исследования показывают, что для бортовой широкополосной спутниковой связи антенная система является одним из ключевых компонентов в конструкции аппаратуры. Из-за ограничений антенн с механическим управлением наиболее многообещающим решением представляется антенная решетка с электронным управлением, использующая цифровое формирование луча. Тем не менее, разработка подобных антенных решеток в Ka-диапазоне сталкивается с высокими требованиями в отношении производительности, интеграции и, что не менее важно, стоимости компонентов. Описан результат исследования антенной решетки, элементы которой запитаны с помощью синфазных и равноамплитудных делителей мощности в волноводном исполнении. Рассмотрены варианты конструкции излучателей; исследована возможность реализации элементов фазированной антенной решетки (ФАР) с использованием различных видов технологии. Проведена оценка потерь мощности в многоканальных волноводных делителях мощности

Ключевые слова: спутниковая связь мобильного и бортового базирования, спираль Архимеда

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА СВЯЗИ С OFDM

О.Н. Чирков, А.А. Пирогов

Аннотация: рассматривается возможность использования нейронной сети с алгоритмами глубокого обучения для определения и оценки истинных передаваемых данных после распространения по зашумленному каналу при мультиплексировании с ортогональным частотным разделением (OFDM). Оценка канала в системах OFDM обычно реализуется в виде оценки по пилотным символам, при которой известные данные передаются по каналу с заданным периодом. Наиболее распространенной пилотной оценкой канала связи является алгоритм по минимальной среднеквадратичной ошибке (MMSE). Для исследования производительности OFDM и качества связи предложено использовать нейронную сеть. Применены алгоритмы машинного обучения (ML) для оценки беспроводного канала связи. Оценка рассматривается как метод снижения битовых ошибок (BER) и повышения помехоустойчивости сигнала. Программа оценки с ML обучается с использованием данных, полученных в результате моделирования передатчика и приемника OFDM в среде MATLAB. Оценщик получает синфазный и квадратурный коэффициенты пилот-символа с модуляцией 16-QAM, а также оценку частотной характеристики канала с помощью сплайн-интерполяции методом наименьших квадратов. Производительность предложенной оценки с машинным обучением сравнивается с традиционной оценкой канала связи с минимальной среднеквадратичной ошибкой MMSE по зависимостям битовых ошибок (BER) к отношению сигнал/шум (SNR). Результаты исследования показывают, что приведенный оценщик на машинном обучении ML может соответствовать производительности стандартных методов оценки каналов, таких как MMSE, имея сопоставимые зависимости битовой ошибки от отношения сигнал/шум

Ключевые слова: оценка канала, модуляция, машинное обучение, нейронная сеть, OFDM

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2023-0011)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЛОКА КОДИРОВАНИЯ LDPC-КОДА ДЛЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ

М.В. Хорошайлова, И.В. Свиридова, И.В. Остроумов

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Аннотация: разработана схема кодирования с низкой плотностью проверки четности (LDPC) с использованием глубокого обучения для двух пользовательских гауссовских каналов множественного доступа с одинаковой скоростью и равными ограничениями средней мощности. Для этого канала предполагается, что любая пара скоростей в пределах области пропускной способности может быть достигнута без необходимости распределения времени или разделения скоростей, просто путем выбора соответствующих кодов и применения совместного декодера. Предложенная модель нейронной сети одновременно оптимизирует распределение мощности и совместный декодер для заданного ограничения мощности и набора LDPC кодов. Для любого пользователя кодовое слово делится на две части одинаковой длины и передается с двумя уровнями мощности. В предлагаемой модели нейронной сети распределение мощности и обучаемые веса объединенного декодера оптимизируются одновременно. Численные результаты показывают, что предложенная схема обеспечивает лучшую производительность BER. Анализ порога декодирования показал, что оптимизированные схемы совместного декодирования с LDPC кодами могут приближаться к пределу Шеннона. Численные результаты показывают, что предложенная схема обеспечивает лучшую производительность по частоте ошибок по битам, чем существующие схемы, для более коротких длин кода и меньшего количества итераций декодирования

Ключевые слова: коды LDPC, гауссовский канал множественного доступа, совместное декодирование, глубокое обучение

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

И.М. Горбач, А.Б. Булков, В.Ф. Селиванов, И.Б. Корчагин

Аннотация: определены оптимальные параметры лазерной сварки тонколистовых конструкций из аустенитной стали и высоколегированного сплава на основе никеля. С помощью физико-математического моделирования тепловых процессов определены основные параметры режима сварки, обеспечивающие требуемую форму проплавления и размеры зоны термического влияния. Установлено, что оптимальное распределение температур при сварке формируется при смещении луча на заготовку из аустенитной стали на величину 0,25 мм. Отработка режимов на образцах показала хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных. Результаты визуального и металлографического контроля подтверждают получение бездефектных швов с минимальной долей участия инконеля в формировании сечения шва. Проведены расчеты напряженно-деформированного состояния, возникающего при сварке по проектной технологии листовых и трубчатых заготовок. Результаты расчетов показывают, что в деталях после сварки возникает практически одноосное напряженное состояние, формирующееся за счет высоких растягивающих напряжений в околошовной зоне. Величина напряжений для каждой из заготовок превышает ее предел текучести, вызывая появление в указанной зоне пластических деформаций. Равномерное распределение температуры по толщине заготовок, сваренных по данной технологии, обуславливает минимальный уровень остаточных деформаций и отсутствие необходимости в последующей механической обработке

Ключевые слова: лазерная сварка, инконель, аустенитная сталь, напряженно-деформированное состояние

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ УГЛОВ ФРЕЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ РК-ПРОФИЛЬНЫХ ОТВЕРСТИЙ

В.В. Куц, М.В. Митрофанов, О.Н. Кириллов

Аннотация: одной из главных задач, стоящих перед отечественным машиностроением и, в частности, инструментальным производством, является проектирование металлорежущего инструмента на основе современных компьютерных технологий с использованием математического моделирования процессов резания на стадии разработки. Применение компьютерных технологий позволяет спрогнозировать качественные и количественные показатели оценочных параметров срезаемого слоя до стадии изготовления, что, в свою очередь, позволяет вносить изменения в геометрию инструмента, решать задачи по улучшению эффективности обработки до его изготовления. Проведено исследование на примере предложенного метода формообразования РК-профильных отверстий, суть которого заключается в применении фрезы с конструктивной радиальной подачей. С применением разработанного программного обеспечения был проведен анализ изменения кинематических углов фрезы, определены интервалы изменения передних и задних углов в процессе резания, установлено время контакта i -го зуба фрезы, сформированы выводы о неравнозначности условий нагружении зубьев фрезы при обработке и созданы предпосылки для последующего изучения износостойкости инструмента. Результаты проведенного исследования могут быть применены при проектировании металлорежущего инструмента для формообразования гранных внутренних поверхностей, в частности, при расчете значения переднего и заднего углов инструмента

Ключевые слова: РК-профиль, кинематические углы, математическая модель, фреза, формообразование, эксцентриситет, моделирование, передняя поверхность, задняя поверхность, время контакта

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

Л.С. Печенкина, И.И. Емельянов

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Аннотация: износостойкость является важной характеристикой долговечности самих машин и изделий, работающих при трении. Она определяется в основном твердостью. Износостойкие белые чугуны – группа хромистых и никель-хромистых чугунов, их главная особенность – при затвердевании выделяется карбидная фаза, наделяющая высокой износостойкостью при абразивном изнашивании. Область для применения деталей из белых чугунов, устойчивых к износу, охватывает многие промышленные отрасли, где долговечность деталей можно соотнести с абразивным износом. Есть условия подбора марки износостойкого чугуна: рабочая среда и скорость износа. Следует помнить о механической обработке, прокаливаемости и экономичности выбранного материала. Изучая влияние легирующих компонентов на величину износостойкости белых чугунов, можно сказать, что содержание таких элементов, как хром, марганец и никель благоприятно воздействуют на интересующие характеристики изделий. Многие предприятия вносят в свою номенклатуру большое число отливок как раз из рассматриваемого чугуна. Особенно мало сведений о малоуглеродистых белых чугунах, что характеризует актуальность исследования. В качестве рассматриваемых материалов были взяты белые чугуны без содержания меди и с её содержанием. Все испытания проводились на машине трения МИ-1М. Было изучено, какое влияние удельная нагрузка оказывает на величину износа. В качестве эталона был выбран сплав марки ШХ15. Было выявлено, что наименьшее различие между зависимостями для сплавов и эталона наблюдается в промежутке нагрузки до 5 МПа. Но начиная с нагрузки в 1,5 МПа, видно, что удельная нагрузка напрямую влияет на коэффициент износостойкости. Основываясь на полученных корреляционных зависимостях коэффициентов относительной износостойкости от механических свойств, факторов химического и фазового состава сплавов, был выполнен анализ износостойкости этих самых сплавов. Предварительно была проведена комплексная оценка относительно основного элемента-аустенитизатора – марганца, а также влияния степени аустенитизации структуры. В результате исследования установлены зависимости влияния содержания химических элементов и содержания аустенита в структуре на коэффициент износостойкости малоуглеродистых сплавов. Наибольшая износостойкость отмечается у малоуглеродистых чугунов при содержании марганца в пределах двух-трех процентов, что сочетается с содержанием в структуре двадцати – тридцати пяти процентов аустенита. Это объясняется влиянием марганца на структуру. В условиях абразивного износа максимум увеличивается на десять процентов, так как наблюдается более сильное уплотнение поверхностного слоя. Определены количества мартенсита, аустенита, карбидов, дающие наибольшую стойкость к изнашиванию в разных условиях, применительно к исследуемым сплавам

Ключевые слова: изнашивание, отливка, белый чугун, структура, коэффициент износостойкости

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ НАНОКОМПОЗИТОВ Fe-Zr-O

О.В. Стогней, Н.А. Касаткин, А.В. Ситников, А.М. Дерябин

Аннотация: исследуется влияние концентрации кислорода на фазовый состав наноструктурированных композитов Fe-Zr-O. Объекты исследования получены с помощью метода ионно-лучевого распыления составной мишени, изготовленной из литой металлической основы (Fe) и оксидных навесок (ZrO_2). Изменение концентрации кислорода в композитах достигалось за счет изменения парциального давления кислорода, добавляемого в аргон при напылении. Получены три композитные системы: в чистом аргоне ($P_{Ar}=6 \cdot 10^{-4}$ Торр) и при добавлении кислорода $P_O=0,6 \cdot 10^{-5}$ Торр и $P_O=0,9 \cdot 10^{-5}$ Торр, соответственно. Исследование полученных композитов показало, что варьирование парциальным давлением кислорода в камере позволяет существенно менять его концентрацию в напыленных покрытиях и менять фазовый состав композитов, не изменяя состава и конфигурации исходной (распыляемой) мишени. При напылении композитов в чистом аргоне формируется фаза чистого железа и нестехиометрического оксида циркония ($Fe + ZrO_n, n < 2$). Добавление кислорода приводит к формированию стехиометрического оксида циркония ZrO_2 и частичному окислению железа до фазы вюстита (FeO). В зависимости от количества кислорода фаза железа окисляется полностью или частично, поэтому структура таких композитов является двухфазной или трёхфазной: $Fe + ZrO_2 + FeO$ или $FeO + ZrO_2$

Ключевые слова: наногранулированный композит, ионно-лучевое распыление, стехиометрия, рентгенодифракционный анализ, фазовый состав

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 23-29-00176)