

СИНТЕЗ СИСТЕМ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА С СИГНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИЕЙ

С.Л. Подвальный, Е.М. Васильев

Аннотация: решается задача построения систем с сигнальной адаптацией для автоматического управления нестационарными объектами высокого динамического порядка. Показано, что основной трудностью синтеза таких систем является противоречие между стремлением увеличить глубину адаптации системы и необходимостью обеспечить её устойчивость во всём диапазоне нестационарных параметров объекта. Предложен способ преодоления указанной трудности, основанный на коррекции частотных характеристик объекта и использовании концепции многоальтернативного управления, в частности, принципа разделения функций. В качестве таких функций в рассматриваемой задаче выделены функции обеспечения качества переходного процесса, адаптации, обеспечения устойчивости системы и точности в установившемся режиме. Составлена функциональная схема системы, обеспечивающая раздельное выполнение перечисленных функций, и раскрыто содержание соответствующих процедур синтеза. Даны рекомендации по выбору порядка эталонной модели и коэффициента передачи в цепи обратной связи контура адаптации. Показана целесообразность определения параметров корректирующего каскада путём постановки и решения задачи математического программирования, обеспечивающей требуемые запасы устойчивости в системе. Отмечено, что повышение точности системы путём увеличения порядка её астатизма предполагает введение в систему дополнительного контура регулирования по отклонению, содержащего звено изодрома. Приведён полный числовой пример синтеза системы регулирования, и на имитационной модели продемонстрировано достижение у неё высоких адаптивных свойства с одновременным обеспечением требуемых запасов её устойчивости

Ключевые слова: нестационарный объект, высокий динамический порядок, устойчивость системы, явная эталонная модель, сигнальная адаптация

ЧАСТОТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.А. Нечаев, А.Н. Зейн, М.А. Орлова, М.А. Дурова

Аннотация: задача сравнения изображений и повышения качества сходства между ними является актуальной. С одной стороны, разработчики стремятся применить разные методы сжатия изображений с целью снижения трафика в сети, а с другой стороны, повышается потребность в точности распознавания и анализа изображений из сети интернет. Проведённое исследование отражает результаты исследования эталонных оценок качества изображения, получаемых при вычислении средних степенных значений в различных областях. Предметом исследования являлись значения объективных эталонных метрик качества изображения, степень их сходства с экспертными оценками и способы приблизить их к экспертным оценкам. Принцип исследования заключается в вычислении характеристик изображений и использовании их в качестве признаков при использовании методов машинного обучения. Для реализации указанной задачи была разработана программа на языке Delphi в среде Embarcadero RAD Studio (для преобразования изображений в различные области и вычисления средних степенных значений) и скрипты на языке Python с использованием библиотеки машинного обучения scikit-learn (для обучения, и тестирования различных моделей линейной регрессии). Результаты этого исследования могут использоваться для дальнейших исследований в области эталонного оценивания качества изображений

Ключевые слова: дискретное косинусное преобразование, качество изображений, линейная регрессия, машинное обучение

Благодарности: исследование выполнено в рамках проекта «Разработка информационной системы для программного обеспечения для моделирования режимов работы энерготехнологического оборудования и тепловых схем энерготехнологических объектов с использованием динамических элементов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию научно-исследовательской программы «Приоритет 2030: Технологии будущего в 2022-2024 годах»

ИНСТРУМЕНТЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР

Г.В. Петрухнова, А.Б. Жерелин

Аннотация: рассматриваются основные этапы визуализации трёхмерного и двухмерного пространства в программных обеспечениях по созданию компьютерных игр (игровых движках). Показано, что игровые движки являются перспективным направлением работы с трёхмерной (3D) графикой. Показаны ключевые инструменты разработки пользовательских интерфейсов. Представлены и детализированы основные этапы визуализации: подготовка сцены, построение примитива объекта, окрашивание объектов, создание проекции экранного пространства, растеризация. Указано, что Unity предлагает три различных конвейера для создания высококачественных визуальных эффектов: универсальный конвейер рендеринга (URP), конвейер рендеринга высокой четкости (HDRP), встроенный (Built-In). Рассмотрены особенности и возможности этих конвейеров. В качестве практического примера демонстрации инструментов визуализации рассмотрено их использование для реализации графического интерфейса приложения «Двойные крестики-нолики». Данная игра является усложнённым вариантом классических «крестиков-ноликов». Классический вариант довольно популярен среди детей и молодёжи, однако его постоянное использование приводит к постепенному угасанию интереса к игровому процессу. В варианте «Двойные крестики-нолики» имеются дополнения к традиционным правилам, благодаря которым усложняется игровой процесс, что позволяет поддерживать интерес к игре. Совместное использование традиционной версии и предлагаемой позволяет сделать игру многоуровневой. Мобильное приложение «Двойные крестики-нолики» выполнено в 2D-режиме с видом сбоку. В качестве конвейера рендеринга был выбран встроенный конвейер Unity. Рассматриваются особенности реализации графического интерфейса данного приложения. Показаны возможности инструментов визуализации игрового движка Unity для разработки графического интерфейса этого мобильного приложения

Ключевые слова: игровой движок, 3D-сцена, визуализация, рендеринг, интерполяция, растеризация, Unity, конвейер рендеринга, URP, HDRP, пользовательский интерфейс

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ СО СЛУЧАЙНЫМ ПРОЦЕССОМ

Г.С. Тихомиров

Аннотация: для описания технологических процессов обычно используются детерминированные и стохастические модели. Предпочтительным является использование стохастических моделей, поскольку их использование позволяет учитывать влияние неконтролируемых возмущений, действующих на эти процессы. При этом случайные процессы обычно описываются одним из известных законов распределения. Рассмотрен численный метод нахождения математического ожидания решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с начальными условиями, один из коэффициентов которого является случайным процессом, задаваемым характеристическим функционалом. Уравнение не может быть записано в форме интеграла Ито или Стратоновича. Для получения решения рассматриваемого уравнения оно сводится к детерминированной задаче в обыкновенных и вариационных производных путем введения вспомогательных отображений. Решение полученной детерминированной задачи позволяет найти математическое ожидание искомой функции. Поскольку получение аналитического решения задачи в общем виде является неочевидным, она решается с помощью сеточной аппроксимации. Разработан алгоритм, позволяющий получить численное решение математического ожидания искомой функции в точках временной области. Предложенная методика рассмотрена на примере решения задачи нахождения концентрации радикалов в процессе термомеханической деструкции полимера. Модель процесса описывается уравнением Риккати с заданным начальным условием, которая сводится к линейному неоднородному дифференциальному уравнению второго порядка со случайным процессом. Получено численное решение данной модели, анализ результатов моделирования показал хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными значениями концентрации радикалов. Результаты моделирования представлены в графической форме. Предложенный метод реализован в виде прикладной программы на ЭВМ (электронной вычислительной машине)

Ключевые слова: дифференциальные уравнения со случайными коэффициентами, характеристический функционал, математическое ожидание, разностный метод, гауссовский случайный процесс, вариационная производная, уравнение с частной и вариационной производными

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ВОЗНАГРАЖДЕНИЯ В АЛГОРИТМАХ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

В.В. Кашко, С.А. Олейникова, Ю.С. Акинина

Аннотация: объектом исследования являются интеллектуальные шагающие роботы, работающие с помощью алгоритмов обучения с подкреплением. В данных алгоритмах цель задаётся посредством значений функции вознаграждения, от выбора которой напрямую зависят скорость и результат обучения. Исходя из наличия множества факторов, влияющих на выполнение действий агента, возникает задача подбора каждого параметра, входящего в данную функцию. Данные параметры подбираются, исходя из наилучших с точки зрения лица принимающего решения последствий для агента. Одновременно необходимо принимать решение о стратегии выбора. Исследуются существующие подходы к формированию функции вознаграждения многофакторных систем, выявление проблем, возникающих при выборе «некачественной» функции вознаграждения, анализ применения параметрических функций. Исследование осуществлялось с использованием разработанного приложения, имитирующего действие интеллектуального агента, основанного на обучении с подкреплением с разными функциями вознаграждения. Получение опытных данных производилось с использованием табличного алгоритма Q – обучения на примере симуляции игры «Замёрзшее озеро». Все результаты получены на одних и тех же параметрах алгоритма, но с разными распределениями вознаграждений. Таким образом, проведено экспериментальное исследование, позволяющее сделать выводы о специфике построения функции вознаграждения. Новизна заключается в выработке рекомендаций, позволяющих получить наилучший эффект вознаграждения в алгоритмах обучения с подкреплением

Ключевые слова: обучение с подкреплением, функция вознаграждения, параметризация, параметрические функции, Q-обучение, робототехника

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

А.К. Тищенко, Е.М. Васильев, А.О. Тищенко

Аннотация: решается задача обеспечения устойчивости систем преобразования энергии солнечных батарей космических станций. Проведён анализ содержания решаемой задачи, и отмечено, что в крупных космических аппаратах системы электропитания характеризуются присутствием разветвлённой кабельной сети, обладающей индуктивным сопротивлением, и наличием каскада фильтров низкой частоты, приводящим к высокому динамическому порядку системы регулирования. Указано, что в системах с шунтирующим преобразователем, управляемым широтно-импульсным модулятором, следует учитывать принципиально неустранимую нелинейность его статической характеристики типа «насыщение». Построена имитационная модель системы преобразования энергии с учётом указанных особенностей. Приведён пример синтеза системы на основе её упрощённой линеаризованной модели, подтверждающий, что в рамках этой модели достаточно ограничиться регулятором со звеном изодрома и обеспечить при этом приемлемые запасы устойчивости. Показано, что в случае существования в системе запаздывания по времени, а также при наличии дополнительных корректирующих звеньев в регуляторе полученные на линеаризованной модели оценки устойчивости становятся неверными, и требуется проводить анализ системы с учётом её нелинейности. Получены условия жёсткого возникновения автоколебаний в нелинейной системе, продемонстрирован их характер, и даны рекомендации по формированию частотных характеристик системы, исключающих возникновение этих колебаний

Ключевые слова: космическая станция, солнечная батарея, шунтирующий преобразователь, широтно-импульсный модулятор, устойчивость, автоколебания

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ПРИ ИК-ОБЛУЧЕНИИ: ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РОБЕНА

Д.С. Сайко, Д.Г. Андреев, С.А. Титов, Е.Ю. Фурсова

Аннотация: рассматривается моделирование процесса теплопередачи при инфракрасном облучении поверхности жидкости в виде решения неоднородного уравнения теплопроводности на полупрямой в том случае, если на границе заданы условия Ньютона-Рихмана. Неоднородность выбрана в экспоненциальной форме. Задача для полубесконечной среды с краевыми условиями 1 и 2 рода в явном виде с представлением через функции ошибок была решена ранее. Однако, для задачи 3 типа обычно используется решение в виде ряда Фурье, плохо сходящееся при малых временах. Для данной задачи известно только общее решение в интегральной форме. Впервые записано явное представление решения в виде линейной комбинации функций ошибок, что существенно упрощает анализ зависимости решения от времени и координаты в приграничной области при малых временах. Путем численного сравнения полученного решения и интегральной формы записи решения из справочника показано, что эти решения совпадают. С целью показать, что аналогичные результаты отсутствуют, анализируются литературные данные по третьей краевой задаче для одномерного уравнения теплопроводности. Решение будет использовано при обработке результатов экспериментов по испарению жидкости под воздействием инфракрасного облучения

Ключевые слова: одномерное уравнение теплопроводности, неоднородное уравнение параболического типа, третья краевая задача, задача Робена, аналитическое решение, экспоненциальная неоднородность, функция ошибок

ИСПОЛНЕНИЕ SQL-ПОДОБНЫХ ЗАПРОСОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ APACHE HADOOP

А.Д. Данилов, М.О. Саввин, А.Е. Карачевцев

Аннотация: современные информационные системы оперируют большим количеством разнородных (гетерогенных) данных, которые необходимо не только эффективно хранить, но и записывать с достаточной скоростью, чтобы поспевать за высокими темпами появления новой информации в многочисленных первоисточниках, которые обеспечивают систему данными. Необходимость быстрой записи и дальнейшего хранения поступающих данных привела к появлению в структуре систем обработки больших данных выделенного слоя «сырых» данных, которые зачастую имеют непостоянную и гетерогенную структуру. Хранение таких данных в классических системах управления базами данных (СУБД) в исходных объемах не только неэффективно с точки зрения стоимости памяти хранилища, но и зачастую невозможно ввиду строгих требований к структуре, которые предъявляются к записываемым данным. Для решения этих проблем появились системы хранения разнородных данных, которые предъявляют гораздо меньшие требования к качеству записываемой информации, а иногда и вовсе ее не проверяют. С другой стороны, уход от реляционных СУБД создал необходимость использования низкоуровневых движков для выполнения запросов в их исходном виде. Рассмотрена проблема написания задач в распределенной среде Hadoop и существующие для этого решения SQL-On-Hadoop. Анализ инструментов трансляции SQL-подобных запросов продемонстрировал их преимущества с точки зрения уменьшения порога входа для пользователя, которое достигается с сохранением всех сильных сторон фреймворка Hadoop, таких как механизмы репликации, отказоустойчивость и параллельное выполнение задач в распределенной среде. В заключение сделан вывод о том, какие преимущества и недостатки есть у рассмотренных инструментов и в каких сценариях лучше отдавать предпочтение каждому из них, для того чтобы строить эффективную архитектуру платформы обработки больших данных

Ключевые слова: обработка больших данных, гетерогенная информация, распределенные вычисления, программно-технические средства

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МНОГОЭТАПНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ВИДЕ СЕТИ ПЕТРИ

А.М. Корнеев, Т.В. Лаврухина, Т.А. Сметанникова, Л.К. Ерохин

Аннотация: рассматриваются вопросы описания многоэтапных производственных процессов иерархических итеративных сетей и сетей Петри. Отдельные стадии обработки представляются в виде клеток итеративной сети, характеризующихся набором входов, выходов и состояний. Для каждой клетки выполняется кодирование информации, формируются алфавиты входов, выходов и состояний. Рассмотрена иерархия клеток дискретной итеративной сети. Использование сетей Петри делает возможным моделировать взаимодействие алфавитов отдельных факторов и исследовать переходы из одного состояния в другое. Сочетания алфавитов рассматриваемых технологических параметров каждой клетки формируют позиции сети Петри, соответствующие описываемому этапу обработки. При моделировании можно представить сеть Петри, которая состоит из набора «слоев». Каждый из них содержит свой набор позиций и переходов и отражает завершение одного этапа и начало следующего. Поскольку обрабатывается статистическая информация, то следует добавить «слой», отвечающий за перемещение от исходных данных к данным первого этапа, и аналогичный – от второго этапа к выходным значениям. В общем виде каждый «слой» содержит сведения об очередном этапе процесса, которые разбиты на заданные наборы. Каждый набор представляет определенную позицию, в которой значение отражает долю данных, соответствующих ему. Из каждой позиции исходят стрелки в переходы, обозначающие наборы статистических данных следующего этапа производственного процесса. Количество указанных стрелок в каждый переход соответствует количеству зафиксированных процессов соответствующего набора очередного этапа, перешедших в определенный переходом набор следующего этапа. При исследовании сложных систем и выборе методов управления ими, учитываются функциональные связи между алфавитами факторов и выходных свойств. Описаны подходы моделирования сложных объектов с учетом иерархии клеток с использованием итеративных сетей и сетей Петри

Ключевые слова: сеть Петри, дискретные итеративные сети, иерархия клеток, алфавиты факторов, клетка итеративной цепи, параметры сети Петри

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ИНВАРИАНТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЯЗКОСТИ НЬЮТОНОВСКИХ СРЕД

А.А. Хвостов, А.А. Журавлев, А.В. Ряжских, А.В. Бараков

Аннотация: рассматриваются вопросы обработки и обобщения результатов сдвиговой вискозиметрии ньютоновских сред, полученных при различных температурах. Приведено обоснование важности учета влияния скорости сдвига и температуры на вязкость жидкообразных сред при реализации гидромеханических, тепло- и массообменных процессов. Исследовалась модельная жидкообразная биопищевая среда. Первичные результаты натурального реологического эксперимента в виде изотермических зависимостей вязкости от скорости сдвига позволили выявить аномалию вязкости при сдвиговом течении и установить влияние скорости сдвига и температуры на изменение вязкости жидкообразной биопищевой среды при ее сдвиговой деформации. Для аппроксимации экспериментальных данных использовано четырех-параметрическое уравнение Карро, учитывающее наличие предельных ньютоновских вязкостей. Параметрическая идентификация реологической модели Карро проведена с использованием алгоритма регуляризации А.Н. Тихонова на основе численной модели течения нелинейно-вязкой жидкообразной среды в измерительной системе вискозиметра. Показано, что с применением принципа температурно-временной аналогии (в котором роль временного фактора играет скорость сдвига) имеется возможность обобщения экспериментальных данных в единую температурно-инвариантную характеристику вязкости. Температурно-инвариантное представление скоростной зависимости вязкости жидкообразной биопищевой среды достигается за счет введения в уравнение Карро фактора приведения, который является функцией температуры. Отмечены достоинства и практическая значимость аналитического описания вязкостных свойств в форме, не зависящей от температуры

Ключевые слова: вязкость, ньютоновская жидкость, модель Карро, аномалия вязкости, температурно-временная аналогия, идентификация

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Г.В. Петрухнова, А.А. Чёлник

Аннотация: разработка программного обеспечения и использование микроконтроллеров для умного дома – это актуальная тенденция в области современных технологий. Рассматривается инновационный подход к взаимодействию различных устройств системы «Умный дом», основанный на клиент-серверной архитектуре. Данный подход обеспечивает интеграцию умного дома в единую систему, позволяя устройствам согласованно взаимодействовать и функционировать. Ключевыми отличительными особенностями этого подхода являются гибкость и адаптивность программного обеспечения, позволяющего настраивать систему под различные режимы, условия и потребительские потребности. Проведен сравнительный анализ возможностей разработанной системы и возможностей умного дома с Алисой и системы i-Tone. В качестве ядра аппаратного обеспечения разрабатываемой системы использовался микроконтроллер Espressif ESP-32, имеющий обширный набор интерфейсов для подключения к широкому спектру внешних периферийных устройств и низкое энергопотребление. Архитектура системы включает в себя WEB-сервер на базе микрокомпьютера Orange PI Zero 3, роутер и несколько устройств на базе ESP-32. Данная система имеет типичную клиент-серверную архитектуру, где клиент (смартфон, компьютер) общается с веб-сервером, а сервер, в свою очередь, взаимодействует с устройствами. В качестве протокола для передачи данных от устройств к серверу был выбран протокол Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). Для управления сервисами в разработанной системе используется контейнеризация с помощью Docker и оркестрация контейнеров с помощью Docker Compose. В качестве брокера сообщений MQTT выбран Eclipse Mosquitto. Для обработки полученных данных был создан сервис на Java Spring Boot, который подписывается на все устройства умного дома, полученные сообщения сервер обрабатывает и сохраняет в базу данных. Для удобства пользователя добавлена визуализация полученных данных. Веб-интерфейс разработан с использованием библиотеки React

Ключевые слова: умный дом, клиент-серверная архитектура, обмен данными, протокол MQTT, микроконтроллер ESP-32, микрокомпьютера Orange PI Zero 3

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ПАТЧ-АНТЕННА НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНОЙ ПОДЛОЖКИ С ВЫДЕЛЕННЫМ СЛОЕМ ЛИНИИ ПИТАНИЯ

А.В. Ашихмин, Е.А. Ищенко, К.Ю. Пашенко, С.М. Фёдоров

Аннотация: исследуется конструкция направленной антенны на основе патч-излучателей с воздушной подложкой. Рассматриваются две конструкции антенны – когда линия питания и излучатели выполняются в один слой, а также конструкция, когда линия передачи переносится на выделенный (индивидуальный) слой. Полученные результаты показывают, что применение направленных антенн на основе патчей на воздушной подложке позволяет сформировать высоконаправленные антенны с высоким уровнем согласования. Проведенные исследования показали, что применение конструкции антенны с изоляцией линии питания на выделенный слой позволяет улучшить характеристики антенны: повысить уровень согласования, расширить диапазон рабочих частот, улучшить характеристики диаграммы направленности, что особенно важно в реализации систем помехозащищенной связи с роботизированными комплексами, так как реализуется высоконаправленная антенна с веерной диаграммой направленности. Рассмотренные антенны предназначены для работы в диапазоне частот 2.4 ГГц, который является одним из наиболее распространенных и популярных для систем связи с беспилотными комплексами. Рассмотренные конструкции антенн обладают коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН) в диапазоне рабочих частот менее 2, а также уровнем коэффициента направленного действия (КНД) более 12 дБ, что позволяет значительно улучшить характеристики канала связи и повысить его помехозащищенность

Ключевые слова: антенна на воздушной подложке, патч-антенна, направленная антенна, веерная диаграмма направленности

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания "Молодежная лаборатория" № FZGM-2024-0003

МЕТОДИКА ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И НЕЙРОННОЙ СЕТИ

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

Аннотация: предложен улучшенный способ шумоподавления двумерного изображения, основанный на вейвлет-преобразовании и сверточной нейронной сети, позволяющий подавить данные случайного шума, создаваемого внешними или внутренними факторами, снижая резкость изображений с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Действительный сигнал отличается от шума после вейвлет-преобразования, и преобразованный сигнал служит входными данными нейронной сети. Глубокая нейронная сеть используется для непосредственного изучения характеристик шума на изображении, связанных с вейвлет-областью, что позволяет точно и адаптивно оценивать уровень и распределение шума. Сверточная нейронная сеть удаляет шум из сигнала с помощью чистого сигнала, который использует как эталонный в качестве отмеченных данных. Полученные изображения, несущие шум, разложены с использованием 2D-вейвлетов, ранжируя разложенные высокочастотные и низкочастотные коэффициенты, чтобы сформировать набор данных. Результаты моделирования показывают, что предложенный метод обеспечивает более высокую производительность шумоподавления с точки зрения пикового отношения сигнал/шум и среднеквадратической ошибки по сравнению с методами, использующими только нейронные сети. Представлен анализ влияния количества слоев сверточной нейронной сети на эффективность удаления шума нейронной сетью на основе вейвлет-преобразования

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, шумоподавление, случайный шум, двумерное изображение, нейронная сеть, высокочастотные и низкочастотные коэффициенты

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZGM-2024-0006)

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.Д. Мартынюк, Д.А. Рыбников, А.И. Сукачев, Е.А. Сукачева

Аннотация: представлена разработка программно-аппаратного комплекса обнаружения и идентификации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Парадигма использования таких устройств внедряется все больше и больше во все сферы общественной жизнедеятельности. Именно поэтому такие программно-аппаратные комплексы необходимы для эффективного выявления угрозы, которую может предоставить БПЛА. В статье рассмотрен акустический метод обнаружения дронов, а именно разработка микрофонной решетки на основе высокочувствительных цифровых микрофонов модели INMP441, в сочетании с использованием искусственного интеллекта. Применение систем на основе акустического метода обнаружения позволяет выявлять БПЛА даже в режиме радиомолчания, причем с большей скоростью обнаружения в отличие от радиолокационного и радиотехнического методов контроля. В статье также рассмотрены плюсы и минусы акустического метода контроля. Для разработки системы использовались: ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) модели ZYNQ 7010, микрофонная решетка, фреймворк Qt и сетевой протокол TCP/IP. В заключении было выявлено, что данный программно-аппаратный комплекс позволяет решить проблему эффективного обнаружения БПЛА, а также способен внедряться в уже имеющиеся крупные охраняемые системы как отдельный модуль

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, акустический метод обнаружения, идентификация дронов

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZGM-2024-0006)

СОГЛАСУЮЩАЯ СИСТЕМА УКРОЧЕННОЙ АНТЕННЫ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

О.И. Бирюков, Н.А. Гилев, Ю.О. Филимонова, К.А. Лайко

Аннотация: рассмотрен способ согласования укороченного варианта штыревой вертикальной несимметричной вибраторной антенны, работающей в коротковолновом диапазоне. Длина излучающей части укороченной антенны составляет 0,1 длины волны. Исследования происходили в относительной полосе частот 20% в диапазоне от 3,6 до 4,4 МГц. Согласование проводилось на частоте 4 МГц. Измерены активная и реактивная части входного сопротивления антенны. Для построения математической модели проведена аппроксимация входного сопротивления. Аппроксимация активной части волнового сопротивления описана с помощью функции косинуса на пьедестале, реактивная часть, имеющая ёмкостной характер — с помощью гиперболической функции. В согласующей системе рассмотрены варианты использования отрезков коаксиального кабеля с различным волновым сопротивлением. В качестве согласующего устройства использовались трансформирующие свойства коаксиального кабеля и подключаемый к нему параллельно короткозамкнутый шлейф. Согласование проводилось с волновым сопротивлением фидера и приемно-передающего устройства 50 Ом. Проведена оптимизация исходных стандартных волновых сопротивлений коаксиального кабеля 50 и 75 Ом по критериям минимальной длины и максимальной полосы рабочих частот антенны. Построены графики коэффициента стоячей волны для различных вариантов согласующих систем. Проведён сравнительный анализ результатов аппроксимации

Ключевые слова: несимметричный вибратор, согласование, коаксиальный кабель, волновое сопротивление, коротковолновый диапазон

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИКСИРУЮЩИХ СТОЕК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНОЙ ПОДЛОЖКИ

А.В. Ашихмин, Е.А. Ищенко, С.М. Фёдоров

Аннотация: рассматривается антенна на основе воздушной подложки для реализации помехозащищенного канала передачи данных. Рассматриваемая антенна позволяет обеспечить веерную диаграмму направленности, а также высокий уровень коэффициента направленного действия. Особый акцент в данной работе сделан на возможность фиксации излучающего слоя над заземлением на необходимой высоте, так как этот параметр определяет основные характеристики антенны. Для реализации стоек рассматривались два основных подхода, которые базируются на основе материалов изготовления, таких как диэлектрические материалы или токопроводящие. Проведенное исследование показывает, что применение диэлектрических стоек оказывает минимальное влияние на антенну, что позволяет сохранить основные показатели. Использование же токопроводящих стоек позволяет значительно повысить надежность фиксации антенных элементов, однако стоит учитывать их влияние. Проведенные исследования показали, что ширина таких стоек оказывает наибольшее влияние на характеристики антенны. В статье приводятся характеристики антенны как в идеальном случае, так и при использовании фиксирующих стоек. Дополнительное исследование было проведено для токопроводящих стоек с целью определить влияние их размеров на характеристики направленной патч-антенны на воздушной подложке. Таким образом, были отмечены основные зависимости характеристик антенны от материалов фиксирующих стоек, что является наиболее актуальной и важной задачей при разработке антенн на основе воздушной подложки

Ключевые слова: антенна на воздушной подложке, патч-антенна, направленная антенна, веерная диаграмма направленности, крепление антенны

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания "Молодежная лаборатория" № FZGM-2024-0003

МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.В. Башкиров, М.В. Хорошайлова, И.В. Свиридова

Аннотация: представлена методика на искусственной основе нейронной сети для настройки оптимальных параметров пропорционально-интегрально-производного (ПИД) управления, позволяющая повысить эффективность управления траекторией движения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Эта система управляется тремя различными структурами ПИД-регулирования для движений по крену (Roll), тангажу (Pitch) и рысканью (Yaw). Таким образом, адаптация БПЛА к линейным параметрам ПИД облегчается за счет использования нелинейных поведенческих параметров при обучении нейронной сети. Для этой цели моделирование полета системы летающего БПЛА выполнялось с 200 различными случайно определенными комбинациями параметров ПИД в среде моделирования Mission Planner, и набором данных о местоположении, входных данных и ПИД-параметров при создании выходного сигнала. Моделирование, выполненное на траектории, используемой в качестве контрольной при создании набора данных, показывает, что изменение ПИД-параметров управления рысканьем не вызывает существенного изменения ошибки траектории. Набор данных, полученный для настройки крена и тангажа, используется для моделей, разработанных с использованием нейронной сети прямого и обратного распространения, которая часто используется для определения оптимальных параметров усиления ПИД

Ключевые слова: ПИД-управление, архитектура нейронной сети, крен, тангаж, рысканье, параметры обучения, траектория движения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZGM-2024-0006)

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНСПЕКЦИИ ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

М.А. Ромащенко, Д.В. Васильченко

Аннотация: рассматривается один из этапов проекта по разработке, изготовлению и тестированию опытного образца программно-аппаратного комплекса оптической инспекции топологии электронных компонентов. Основной задачей данного этапа являлась разработка методики получения и обработки данных оптической инспекции, необходимой для автоматизированного контроля качества микроскопических изделий. Обоснована необходимость создания методики, которая позволит обеспечить высокую точность и надежность обнаружения дефектов полупроводниковых кристаллов на различных этапах контроля качества. Сформулированы основные требования к подобной методике, включающие первичную инициализацию и управление аппаратным обеспечением, конфигурирование программного обеспечения, сбор данных с камеры машинного зрения и их последующую обработку. Представлена разработанная структурная схема методики управления, сканирования, передачи и обработки данных оптической инспекции. Описаны этапы получения и обработки оптических изображений полупроводниковых кристаллов, а также предложены подходы к интеграции программного обеспечения с аппаратной частью программно-аппаратного комплекса. Приведено описание экспериментального процесса сбора и обработки изображений при помощи промышленного инспекционного микроскопа Nexcore NX1000 и цифровой камеры Daheng imaging MER2-2000-19U3C. Отдельно рассмотрен алгоритм сбора и предварительной обработки изображений для формирования обучающего датасета. Перечислены рекомендуемые приемы предварительной обработки данных инспекции для их преобразования и нормализации

Ключевые слова: электронный компонент, машинное зрение, дефектоскопия, оптическая инспекция, неразрушающий контроль

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» в рамках конкурса Старт-23-1 (очередь II) (договор №5049ГС1/89569 от 24.10.2023)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ ФОРМЫ СПИРАЛИ ПЛАНАРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Н.М. Калинин, А.И. Сукачев, Е.А. Сукачева, Д.А. Рыбников

Аннотация: дан обзор основных форм спиралей излучающих контуров, выполненных по планарной технологии, применяемых в беспроводных зарядных устройствах. Применение подобных излучателей позволяет упростить производство беспроводной зарядки, уменьшить ее габариты, а также скомпоновать излучатель на одной печатной плате непосредственно вместе с генерирующей цепью. Также подобные излучатели значительно более просты в обращении и обладают высокой стойкостью к внешним воздействиям. Для исследования были созданы модели излучателей в среде Altium Designer, после чего они были проанализированы при помощи метода конечных элементов в одном из пакетов CST Studio Suite. Полученные результаты позволили провести сравнительный анализ магнитных полей, излучаемых планарными антеннами всех приведенных в статье форм, между собой. Показано, что форма спирали играет ключевую роль при проектировании подобных излучающих систем. В заключении были выделены два основных тезиса, на которые следует опираться инженеру при проектировании беспроводного зарядного устройства с применением планарной технологии, что представляется важным для оптимизации процесса разработки и производства и повышения эффективности конечного продукта

Ключевые слова: планарный излучатель, излучающий контур, магнитное поле

АТМОСФЕРНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

Р.П. Краснов

Аннотация: в связи с постоянным ростом объема передаваемых данных и высоким спросом на пропускную способность абонентских каналов в качестве широкополосной технологии «последней мили» может выступать атмосферная оптическая линия связи (АОЛС). Высокая спектральная и информационная эффективность по сравнению с радиочастотными линиями ухудшается за счет воздействия атмосферных эффектов в канале связи, в том числе и за счет атмосферной турбулентности. Для повышения качества связи предложено совместное использование методов помехоустойчивого кодирования и ортогонального частотного разделения каналов (OFDM). В статье рассмотрена система атмосферной оптической связи OFDM-типа, в которой для сигналов на поднесущих использовалась бинарная фазовая манипуляция (BPSK). Турбулентный атмосферный оптический канал описывался статистической моделью экспоненциального распределения Вейбулла. В качестве методов помехоустойчивого кодирования рассмотрены сверточные коды, коды Рида-Соломона и турбо-коды. Результаты показывают, что помехоустойчивые коды повышают качество связи системы передачи. Показано также, что турбо-коды значительно улучшают возможности коррекции ошибок по сравнению с другими методами в тех же условиях турбулентности и протяженности линии связи

Ключевые слова: АОЛС, битовая ошибка, OFDM, помехоустойчивое кодирование

АЛГОРИТМ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ДАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЛИЖНЕГО ПОЛЯ ПЕЧАТНЫХ МОДУЛЕЙ

В.В. Глотов, Н.Д. Майков, Д.Ю. Решетников

Аннотация: при проектировании радиоэлектронных средств с учетом требований электромагнитной совместимости необходимо быстро и качественно оценивать электромагнитную модель этого электронного устройства. Обычно в основу этой модели лежит эквивалентная математическая модель. Как правило, ошибки в решении математической модели появляются из-за ошибок физического моделирования (геометрическая аппроксимация) и математического моделирования. Кроме того, расчет решения уравнений Максвелла для больших сложных задач с минимальной ошибкой требует времени и ресурсов. Чтобы преодолеть ограниченные вычислительные ресурсы компьютеров, применяются численно эффективные методы, которые облегчают вычислительную нагрузку и способны аппроксимировать точное решение с минимальной ошибкой. В данной статье представлен алгоритм методики анализа данных характеристик ближнего поля печатных модулей, в основе которого лежит эквивалентное дипольное моделирование. В математической модели объемные токи поляризации внутри диэлектрического тела заменены эквивалентными дипольными моментами, которые определяются выполнением условия согласованности электрических полей внутри диэлектрического тела. Преимущество разработанной методики состоит в том, что она накладывает аналитические решения рассеянного электромагнитного поля канонических структур для моделирования полного рассеянного поля объекта произвольной формы. Эти элементарные рассеянные поля фактически не являются сингулярными при приближении к распределенному току источника. Они того же порядка, что и падающее поле, то есть первого порядка. В результате метод не отклоняется от эталонных значений, присущих традиционным методам моментных подходов, которые основаны на подходах функций Грина, где выполняется суперпозиция полей, генерируемых бесконечно малыми сосредоточенными источниками тока. Кроме того, метод относительно прост в реализации, особенно потому, что базисные функции для тока электрически малы и, следовательно, могут иметь низкий порядок

Ключевые слова: дипольный момент, эквивалентное моделирование, магнитное поле, ближние поля, метод оптимизации

НИЗКОПРОФИЛЬНАЯ ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ВИВАЛЬДИ

И.Н. Бобков

Аннотация: рассмотрена плоская антенная решетка Вивальди, предназначенная для работы на двух линейных поляризациях. Излучатели антенной решетки выполнены из тонкого фольгированного диэлектрического материала с малой относительной диэлектрической проницаемостью. Возбуждение экспоненциально расширяющегося щелевого раскрытия в излучателях осуществляется при помощи перехода от полосковой линии передачи к щелевой линии, причем переход располагается ортогонально продольной оси излучателя у самого его основания. Такое взаимное расположение частей позволяет выделить под расширяющийся щелевой раскрытием больше полезной площади диэлектрической подложки, не прибегая к увеличению габаритных размеров. Приведены результаты численного исследования характеристик элементарной ячейки антенной решетки с периодическими граничными условиями на гранях. Показано, что коэффициент стоячей волны по напряжению в режиме излучения по нормали не превышает 3 в полосе частот с перекрытием 2:1. Исследованные характеристики излучения показывают низкий уровень кросс-поляризации и возможность сканирования луча на угол до 50° . При этом высота излучателей над металлическим экраном составляет лишь половину длины волны на верхней частоте рабочего диапазона и не превышает шаг антенной решетки

Ключевые слова: антенные решетки, апертурные антенны, кросс-поляризация, широкополосные антенны, антенны Вивальди

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00537, <https://rscf.ru/project/22-19-00537/> в Центре коллективного пользования "Прикладная электродинамика и антенные измерения" Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНОЙ ПОДЛОЖКИ ОТ ЧИСЛА ПАТЧЕЙ

А.В. Ашихмин, Е.Д. Егорова, Е.А. Ищенко, С.М. Фёдоров, Д.А. Шершов

Аннотация: рассматривается антенная система на основе патчей на воздушной подложке для реализации помехозащищенного канала связи с роботизированными автономными комплексами. Для обеспечения наиболее эффективного помехозащищенного канала необходимо обеспечить максимальный уровень коэффициента направленного действия (КНД) и минимальный уровень боковых лепестков (УБЛ). Для определения характеристик антенны проводилось моделирование зависимости уровня КНД антенны от числа излучателей, формирующих антенную решетку. Полученные результаты показывают, что использование антенны на основе воздушной подложки для формирования высоконаправленной системы связи тесно связано с количеством излучателей, используемых в антенной решетке. Было показано, что применение линейной антенной решетки позволяет сформировать высоконаправленную антенную систему с веерной диаграммой направленности и малым уровнем боковых лепестков, при этом ввиду связи размеров антенны и коэффициента усиления возникает дилемма выбора между минимальным размером антенны и наиболее достижимым уровнем коэффициентом направленного действия. Результаты моделирования представлены в виде картин диаграмм направленности, графиков возвратных потерь, а также объединены в единую таблицу для простоты анализа величины уровня КНД, УБЛ и ширины главных лепестков в зависимости от числа патч-излучателей в антенной системе

Ключевые слова: антенна на воздушной подложке, коэффициент направленного действия, КНД, высоконаправленная антенна

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания "Молодежная лаборатория" № FZGM-2024-0003

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХПРОВОДНОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ В ПОДЗЕМНОМ КВАЗИОДНОМЕРНОМ СООРУЖЕНИИ

Д.В. Федосов, А.В. Колесников, А.В. Николаев

Аннотация: приведены результаты моделирования методом конечных элементов двухпроводной направляющей линии передачи, проложенной вдоль боковой поверхности горной выработки в сплошном полупроводящем пространстве почв и горных пород. Получены зависимости удельного затухания и коэффициента замедления электромагнитной волны в диапазоне средних частот от 1 до 3 МГц при различных расстояниях между направляющей линией и боковой поверхностью тоннеля. Использовано приближение прямого полуцилиндрического туннеля с радиусом 2 м, имитирующее промышленные объекты в горных породах без металлических крепей и железобетонных стен. При приближении линии передачи к горной породе происходит резкое увеличение удельного затухания. Приведены аналитические выражения для расчета полученной моделированием величины удельного затухания радиосигнала на средних частотах от 1 до 3 МГц при изменении расстояния между боковой поверхностью выработки и направляющей линией. Изменчивость фазы детектируемого сигнала и потери энергии волны вдоль линии передачи являются её важными техническими характеристиками при построении перспективных радио- и телекоммуникационных систем связи, навигации, управления автономной аппаратурой и передачи информации в подземных квазиодномерных сооружениях различного назначения

Ключевые слова: подземная связь, подземная навигация, удельное затухание сигнала в шахтах, коэффициент фазы

ОПТИМИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ МАТРИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОУРОВНЕВОГО ДЕКОДЕРА

М.В. Хорошайлова, Э.Э. Каграманов, В.С. Карташов, С.С. Иванова

Аннотация: предлагается многоуровневый декодер для декодирования квазициклических низкоплотностных кодов с несколькими ребрами (QC-LDPC) с использованием графического процессора (ГП) в системах квантового распределения ключей с непрерывной переменной (НПКРК). Коды с контролем четности низкой плотности обладают отличными характеристиками исправления ошибок и широко применяются в различных системах связи. Ключевое ограничение, которое приводит к низкой скорости декодирования, связано с тем фактом, что успешное декодирование при очень низком отношении сигнал/шум требует большого числа итераций. Поэтому здесь для ускорения сходимости декодирования используется алгоритм многоуровневого распространения доверия (BP). Однако пропускная способность декодирования во время постобработки является одним из основных препятствий, возникающих в системе квантового распределения ключей с непрерывной переменной. Исходя из этой проблемы, предлагается провести оптимизацию методов хранения, которые непосредственно имеют связь с матрицей проверки четности. Оптимизация заключается в объединении подматриц, не имеющих связей между собой, и проведение параллельного декодирования некоторого количества кодовых слов с применением GPU. Для верификации методики было проведено моделирование. В ходе моделирования получены данные, демонстрирующие, что усредненная скорость процедуры декодирования LDPC-кода с тремя типичными кодовыми скоростями, т.е. 0,15, 0,06 и 0,03, достигает 57,12 Мбит/с, 48,25 Мбит/с и 35,51 Мбит/с, соответственно, при одновременном декодировании 128 кодовых слов длиной 10^6 без преждевременного завершения

Ключевые слова: LDPC-декодирование, метод квантового распределения ключей, алгоритм распространения доверия, матрица проверки четности

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ МОДУЛЯ ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА

И.С. Бобылкин, В.Р. Тимошилова, А.М. Безрукавый, Е.М. Ивашкина

Аннотация: рассматривается создание микрополоскового фильтра для приёмного устройства. Разработка основана на технологии микрополосковой линии, применяемой в качестве линии передачи для электромагнитных волн в диэлектрической среде. Были созданы две схемы с различным количеством микрополосковых элементов для определения наиболее подходящего материала по электрическим характеристикам. После создания и производства печатной платы на неё установили конденсаторы и фильтры. В результате были изготовлены микрополосковые фильтры для первой и второй ступеней фильтрации. Выбранный диэлектрик — $\epsilon 4003c$ и $\epsilon 3003c$. Для фильтра первой ступени использовалась межпальцевая геометрия, для второй — параллельная геометрия. Каждый фильтр был рассчитан и смоделирован в программе AWR Microwave Office. Практическая реализация включала формирование герберов и чертежей на печатную плату, изготовление платы на стороннем предприятии и заполнение бланка заказа с указанием основных требований на производство платы. В ходе практической реализации были проведены измерения размеров проводников и расстояний между ними с использованием микроскопа, а также измерены частоты настройки фильтров

Ключевые слова: микрополосковые фильтры, СВЧ, микрополосковые линии

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСКАЖЕНИЙ ФОРМ ГЕОМЕТРИИ МАЛОЖЕСТКИХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НА НИХ СИЛЫ СОБСТВЕННОГО ВЕСА И УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ

С.А. Антипин, А.А. Пыхалов, А.А. Пашков

Аннотация: вопрос разработки методики расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) маложестких крупногабаритных деталей авиационной техники на основе математической модели метода конечных элементов и решении физически и геометрически нелинейных задач механики деформируемого твердого тела является актуальной задачей технологии их формообразования. Исследование заключается в том, чтобы на основе полученных при расчете отклонений форм и размеров маложестких крупногабаритных деталей произвести их учет в реальном технологическом процессе формообразования данного типа деталей. В качестве объекта исследования, с использованием которого производилась разработка методики, была выбрана маложесткая панель двойной кривизны с поперечными ребрами. На основании построенной конечно-элементной (КЭ) модели был произведен численный эксперимент. В качестве действующего на панель внешнего нагружения использовались сила веса и условия закрепления. Математическая модель построена с использованием решения статической задачи. Исследование достоверности результатов численного расчета проведено с использованием изогнутой пластины постоянной толщины, для которой имеются данные натурного эксперимента. По результатам проведенного исследования НДС детали были сделаны выводы о том, что искажения форм и размеров необходимо учитывать в технологии изготовления панели, а их максимальная величина имеет место в области свободного конца детали. Полученные результаты расчета КЭ-модели предлагаемой панели, которые выводились в виде коэффициентов изменения формы, позволяют осуществить переход к реальному технологическому процессу дробеударного формообразования, что, в свою очередь, позволяет контролировать размеры получаемых деталей в пределах допуска

Ключевые слова: двойная кривизна, вальцевание, радиус кривизны, напряжено-деформированное состояние, метод конечных элементов, деформируемое твердое тело, статический анализ, гравитационная нагрузка, дробеударное формообразование (ДУФ)

ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ В МЕЖЭЛЕКТРОДНОМ РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ МЕТАЛЛОВ, СКЛОННЫХ К ПАССИВАЦИОННЫМ ЯВЛЕНИЯМ НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ

И.М. Винокурова, В.С. Бородина

Аннотация: цель исследования состоит в разработке модельного комплекса управления режимами электрохимической размерной обработки для металлов из титана, алюминия и их сплавов: анодная обработка (снятие металла под размеры с финишной обработкой с образованием оксидной плёнки) и катодная обработка (нанесение покрытий необходимой толщины). Приведены оптимизационные действия обеспечения контроля обработки и подачи необходимых режимов тока, а также граничные параметры по регулированию изменения температурных полей в рабочем объеме электролита приэлектродных слоёв электродов и в межэлектродном зазоре. Установлены температурные показатели, влияющие на изменение кинетических параметров технологического процесса электрохимической обработки, и составляющие зависимостей, влияющие на изменения показателей режимов течения электролита (концентрационные составляющие рабочего водного раствора электролита: катионный и анионный состав). Разработана физическая модель по моделированию рационального использования локализации тепловых процессов с целью рентабельного применения задаваемых режимов подачи тока в рабочие приэлектродные зоны двойного электрического слоя. Установлены критерии реализации технологического процесса распределения плотности тока по поверхности электрода с учётом законов тепло- и газовой выделения в объёме электролита

Ключевые слова: обработка металла, электролит, критерии расчёта, механизм анодного окисления, рабочие электроды