

## *Информатика, вычислительная техника и управление*

### **ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ С ГИСТЕРЕЗИСОМ БУКА-ВЕНА**

**Н.Н. Карабутов, А.М. Шмырин**

**Аннотация:** предложен метод адаптивной идентификации системы с гистерезисом Бука-Вена. Он основан на применении адаптивных наблюдателей. Такой подход позволяет снять проблему устойчивости решения уравнения гистерезиса. Показано, что свойства входа существенно влияют на решение задачи идентификации. Нелинейная система с гистерезисом Бука-Вена должна быть структурно идентифицируемой. Показано, что для выполнения условия структурной идентифицируемости системы вход должен быть S-синхронизирующим. Предложен выбор параметров адаптивного наблюдателя. Синтезированы адаптивные алгоритмы идентификации процессов в адаптивной системе. Для их получения применен второй метод Ляпунова. Выделены две подсистемы, анализ свойств которых упрощает анализ устойчивости системы. Показана ограниченность процессов в подсистемах адаптивной системы. Точность получаемых оценок зависит от величины производной выходной переменной. Предложен способ определения текущей оценки неопределенности в адаптивной системе. Получаемая неопределенность является текущим эталоном для оценки выхода гистерезиса. Она используется для синтеза алгоритмов настройки параметров модели Бука-Вена. Для идентификации гистерезиса Бука-Вена применена адаптивная модель, совпадающая с уравнением адаптивного наблюдателя. Приведены результаты моделирования, которые подтверждают работоспособность предложенного подхода

**Ключевые слова:** гистерезис, модель Бука-Вена, адаптивный наблюдатель, неопределенность

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта 19-48-480007 p\_a

### **АЛГОРИТМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**С.П. Полуэктов, В.С. Струков, А.А. Копылов, М.В. Себелев, В.Л. Бурковский**

**Аннотация:** обоснована актуальность проблемы обеспечения безопасности функционирования производственных систем. Представлено одно из возможных направлений решения данной проблемы применительно к подвижной производственной системе с эргатическим элементом. Аргументированы предпосылки к усилению собственных защитных свойств производственной системы с эргатическим элементом путем оснащения ее комплексными системами безопасности функционирования, реализующими управление по опасности и обеспечивающими выполнение основных функций с минимальной вероятностью гибели системы. Изложены основания для разработки способа предупреждения внезапной утраты человеком-оператором работоспособного состояния при работе системы в экстремальных условиях. Приведены аргументы в пользу введения в вектор состояния дополнительного параметра – скорости изменения давления воздуха в герметической кабине объекта, который позволит определить косвенным путем вид разгерметизации на ранней стадии развития особой ситуации и сформировать соответствующие параметры управления для предотвращения перехода особой ситуации из аварийной в катастрофическую. Представлен алгоритм определения момента возникновения особой ситуации в производственной системе с эргатическим элементом, вызванной аварийной либо взрывной разгерметизацией, путем дополнительного измерения скорости изменения давления воздуха в герметической кабине объекта, а также комплекс действий, исключающих потерю человеком-оператором работоспособности на начальном этапе развития особой ситуации

**Ключевые слова:** производственная система, эргатический элемент, человек-оператор, герметическая кабина, разгерметизация, гипоксия, абсолютное давление воздуха, скорость изменения давления воздуха

# МОДЕЛЬ СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА В ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С ПОТОКАМИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ И ПРИОРИТЕТОВ

А.В. Лебедев П.В. Зобов

**Аннотация:** рассматривается математическая модель передачи данных в общем канале со случайным множественным доступом. Она позволяет оценить среднее время передачи данных в потоках, вероятности передачи данных в потоках, среднюю длину очереди в устройствах передачи данных при несимметричном режиме работы. Алгоритм доступа основан на конкуренции с использованием фиксированных приоритетов с заданным количеством повторов через фиксированный интервал времени. Считается, что в системе осуществляется передача кодограмм (сообщений) фиксированной длительности. Потоки сообщений в системе являются пуассоновскими. Представленная модель включает в себя математическое описание трех взаимосвязанных случайных процессов - процесс передачи отдельного сообщения, процесс формирования очереди в памяти отдельных устройств и процесс занятия-освобождения общего канала передачи данных. Получены взаимосвязанные аналитические выражения и система дифференциальных уравнений, позволяющие оценить вероятностно-временные характеристики процесса обмена. Приведены результаты расчетов с использованием предложенной модели для оценки вероятностно-временных характеристик информационного обмена в микропроцессорной системе по интерфейсу I<sup>2</sup>C. В отличие от традиционно используемых при решении таких задач имитационных моделей предложенная аналитическая модель существенно проще в реализации. Основное назначение модели - оценка параметров процесса передачи при проектировании систем передачи данных с общим каналом

**Ключевые слова:** канал передачи данных, случайный множественный доступ, микропроцессорная система, вероятность передачи сообщений, среднее время передачи сообщений, длина очереди, интенсивность потока сообщений, фиксированная длина сообщений

# МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

О.Н. Основина, П.И. Жуков

**Аннотация:** рассматривается комплексный подход обеспечения поддержки ремонтпригодности, эксплуатации и отказоустойчивости технологического оборудования промышленных предприятий на базе разработки и внедрения интегрированной логистической системы, основанной на знаниях. Формализация знаний экспертов позволит сохранить и аккумулировать результаты практических и научных работ, полученные в части обеспечения требуемой надежности оборудования в рамках его эксплуатации. Актуальность исследования обусловлена возможностью сокращения совокупных затрат на эксплуатацию и, как следствие, оптимизацией стоимости жизненного цикла оборудования и продления его ресурса работоспособности. Разработка базы знаний в области надежности вместе с известными математическими методами расчета представляет практическую ценность для промышленных предприятий. Исследованные модели представления знаний обеспечивают сценарии преобразования знаниевых ресурсов в виде последовательности вызова операций между объектами предметной области, реализованными с помощью классов. Категоризация данных и знаний, реализованная с помощью методологии ARIS позволяет определить возможности и ограничения проектируемой системы. С помощью UML-диаграмм разработан визуальный универсальный конструктор построения базы знаний и механизма логического вывода на знаниях. Управление знаниями обеспечивает интеграцию взаимодействия всех участников жизненного цикла оборудования и формирование объективных предпосылок для разработки и создания единого информационного окружения

**Ключевые слова:** интегрированная логистическая поддержка, эксплуатационная надежность, диагностика, поддержка эксплуатации, база знаний, экземпляры классов

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРНЫХ МОДУЛЕЙ КОЛЬЦЕВОЙ ГЕОМЕТРИИ

О.В. Калядин, К.Г. Королев

**Аннотация:** проведен сравнительный анализ эксплуатационных характеристик термоэлектрических генераторных модулей с заданной геометрией кольцевых термобатарей с использованием универсальной математической модели [1]. В качестве объекта моделирования использованы термоэлектрические модули, состоящие из серийно выпускаемых и экспериментальных генераторных термобатарей. В качестве материалов для ветвей термоэлементов были использованы серийные сплавы, выпускаемые АО "Корпорация НПО "РИФ", с n-типом проводимости ( $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,4}\text{Se}_{0,6}$  с добавкой 0,2 % (масс.)  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) и p-типом проводимости ( $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$  с добавкой 0,2 % (масс.) Pb), полученные методом холодного и последующего горячего прессования, а также экспериментальные - с повышенной добротностью. Для всех термоэлектрических материалов были известны температурные зависимости термоэдс, коэффициента теплопроводности и электропроводности. Изучено влияние геометрических характеристик термобатарей на рабочие параметры модуля, а также выполнен анализ эффективности экспериментальных материалов по сравнению с серийными. Результаты математического моделирования приведены графически в виде зависимостей КПД, электрической мощности и потребного теплового потока по горячей стороне генераторных модулей от электрического сопротивления внешней нагрузки, также получены вольтамперные характеристики и зависимости электрической мощности генераторных модулей от рабочего тока. Результаты расчетов показывают, что новая геометрия батареи позволяет повысить КПД генераторного модуля на 20 %. В свою очередь, использование новых термоэлектрических материалов дает дополнительный прирост КПД на 14,3 %, а также увеличивает рабочий диапазон экономичной работы. Рекомендуется использовать новые термобатареи в совокупности с новыми материалами для разработки автономных источников тока нового поколения

**Ключевые слова:** моделирование, КПД, термоэлектрический генератор, термобатарея кольцевой геометрии, стационарный процесс

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010г. № 218 (Договор № 03.G25.31.0246)

## ИНТЕРАКТИВНЫЙ МЕТОД НЕЙРОУПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ШИХТЫ В ЦЕМЕНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Л.С. Казаринов, Дж.Р. Хасанов

**Аннотация:** предлагается интерактивный метод нейруправления контуром измельчения шихты при производстве цемента для полуавтоматических мельниц. При этом наиболее важными задачами этой системы являются обеспечение стабильного режима подачи и энергосбережение. Нейруправление строится на основе обучения нейронной сети с учителем, в роли которого выступает опытный оператор мельницы, реализующий эффективное управление процессом измельчения. Нейруправление рассчитывает оптимальные значения уставок для контуров распределенного управления на основе интерактивной вычислительной процедуры. Такой подход позволяет принимать эффективные решения по управлению процессом измельчения на основе согласования множества противоречивых технических условий. Основным преимуществом предлагаемого способа является то, что метод принятия решений по выбору значений управляющих факторов с учетом заданных технико-экономических ограничений позволяет оператору выбрать оптимальные параметры для загрузки мельницы по множеству противоречивых условий, что позволяет получить качественный продукт при минимизации потребляемых ресурсов. Разработанный на основе предложенного метода контроллер был проверен на модели контура измельчения для реальной мельницы. Результаты подтвердили эффективность предлагаемой системы диспетчерского управления, которая позволила увеличить производительность мельницы на 2,36% и одновременно снизить удельное энергопотребление на 2,29%

**Ключевые слова:** цемент, клинкер, нейронная сеть, шихта, процесс помола, оперативное управление

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕКОДЕРОВ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА MIN-SUM**

**М.В. Хорошайлова, И.В. Свиридова, А.О. Кузнецова, Т.Д. Ижокина**

**Аннотация:** показано, как результат моделирования производительности алгоритмов декодирования может быть использован для оптимизации параметров алгоритма и что обработка с использованием метода распараллеливания может не только резко повысить производительность оценки, но может также сделать вычислительную оптимизацию алгоритмов декодирования осуществимой на практике. Представленный метод распараллеливания позволяет повысить производительность и упростить задачи вычислительной оптимизации алгоритмов декодирования. Одним из способов решения задач декодирования является применение целочисленной линейной программы. Выполнение линейного программирования для декодирования существенно зависит от используемой композиции линейного программирования. Приведены примеры моделирования некоторых алгоритмов низкоплотного кода, также показаны результаты моделирования с использованием модифицированного алгоритма min-sum. Показано, что модифицированный алгоритм выигрывает в производительности исправления ошибок, особенно в высоком диапазоне воздействия шума. Представлен распараллеленный метод ускоренного проектирования и оптимизации работы низкоплотных алгоритмов декодирования. С использованием разработанных критериев для оценки эффективности алгоритмов декодирования получается оптимизировать выбор параметров алгоритма с применением нелинейных методов оптимизации. Показано, что все эти действия, направленные на оптимизацию, приводят к полуавтоматической модели алгоритма

**Ключевые слова:** LDPC-декодирование, алгоритм декодирования, эффективность декодирования, производительность алгоритмов

## **ОЦЕНКА КАНАЛА СВЯЗИ С MIMO-OFDM СИСТЕМЫ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ НА ОСНОВЕ СОТОВОЙ СЕТИ С СИЛЬНЫМИ ПОМЕХАМИ**

**О.Н. Чирков, И.М. Пашуева, Э.Э. Каграманов**

**Аннотация:** исследуется построение пилот-сигналов для оценки канала радиосвязи системы обмена данными между транспортными средствами на основе сотовой сети с MIMO-OFDM с сильными помехами в радиоканале от повторного использования спектра между различными линиями связи. Исследуемая система обмена данными между транспортными средствами на основе сотовой сети в настоящий момент рассматривается как наиболее перспективное и реализуемое решение для автомобильной связи и сетей с поддержкой 5G. Получена схема построения пилот-сигналов с повышенной помехоустойчивостью с использованием последовательности зон с нулевой корреляцией. Выведен метод оценки канала системы обмена данными между транспортными средствами на основе корреляции во временной области. В полученном методе используется последовательность зон из того же семейства, из которого выбраны символы пилот-сигнала из временной области. Помехи в многолучевом канале эффективно устраняются путем использования метода оценки на основе корреляции. Результаты моделирования показывают, что предложенный метод оценки канала системы обмена данными между транспортными средствами на основе сотовой сети с сильными помехами показывает характеристики битовой ошибки от отношения сигнал/шум близкие к характеристикам канала без помех

**Ключевые слова:** пилот-сигнал, сотовая сеть, оценка канала, последовательность зон, корреляция, символ, помехи

## МЕТОД ПОДОБИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**Б.В. Матвеев, В.А. Иванов, А.А. Макаров**

**Аннотация:** работа посвящена решению проблемы неоднозначности фазовых измерений при определении угловых координат радиоизлучающих космических аппаратов с использованием многопозиционных фазовых пеленгаторов. С этой целью рассмотрены принципы корреляционно-амплитудного и корреляционно-фазового пеленгования объектов. Указаны недостатки известных алгоритмов устранения неоднозначности фазовых измерений, во избежание которых разработана методика, основанная на выявлении подобия траекторий объекта, полученных по результатам фазовых и амплитудных измерений при послесансной обработке. Описаны последовательные этапы проведения фазовых измерений с использованием предложенного подхода. Полученные теоретические результаты подтверждены с помощью имитационного моделирования. Реализация представленного метода подобия траекторий к устранению неоднозначности фазовых измерений проиллюстрирована на примере корреляционно-фазового пеленгатора, в котором дополнительно без увеличения аппаратуры сформирован режим корреляционно-амплитудного пеленгования. Сделан вывод об эффективности совместного применения амплитудного и фазового пеленгования для высокоточного восстановления траектории пеленгуемого объекта. Многопозиционные фазовые пеленгаторы находят применение при решении задачи высокоточного измерения угловых координат радиоизлучающих космических и других летательных аппаратов. Применение направленных следящих антенн в фазовых пеленгаторах позволяет существенно снизить требования к величине интервала однозначности фазовых измерений, выбор которого осуществляется в соответствии с шириной диаграммы направленности применяемых антенн для заданного диапазона угловых измерений

**Ключевые слова:** фазовые измерения, многопозиционный пеленгатор, устранение неоднозначности

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № СП-834.2019.3)

## ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

**А.В. Башкиров, И.В. Свиридова, Д.А. Пухов, А.С. Демихова**

**Аннотация:** описывается практически реализуемый метод стохастического кодирования, который для системы любых двоичных каналов обеспечивает достаточно малую вероятность необнаруживаемой ошибки. Целью анализа являются системы, в которых канал связи обеспечивает передачу сигналов от передающего пункта к приёмному с минимальными искажениями. Практическое искажение сигналов в реальных каналах связи неизбежно, так как каналы подвержены воздействию различного рода помех, характер которых может часто изменяться. В работе рассматривается система двоичных каналов, которая будет осуществлять переспрос кодовых блоков с обнаруженными ошибками для увеличения качества сигнала. Одним из самых важных условий передачи данных является передача высокой четкости сигнала, так как появление ошибок в коде искажает информацию и может привести к нарушению процесса работы устройства. Рассматривается установка двоичных каналов, в которой все ошибки канала аддитивные. Для преобразований, которые помогут сохранить целостность информации, рассматривают два этапа. На первом этапе метод стохастического кодирования обеспечивает выполнение сохранения сигнала только для канала с аддитивными ошибками. Вторым этапом является стохастическое преобразование, сводящее произвольный двоичный канал к каналу с аддитивным шумом. Оба эти преобразования должны быть взаимно независимыми, иначе их можно рассматривать как одно преобразование, если эти коды используются в системе с решающей обратной связью, то аддитивный канал не будет уменьшать среднюю скорость передачи информации

**Ключевые слова:** стохастическое кодирование, двоичный канал с шумом, система с решающей обратной связью, целостность информации, сигнал, аддитивный канал

## **ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР-МАНИПУЛЯТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

**Д.В. Журавлев, М.А. Сиваш, А.С. Костюков, Д.И. Наумов, В.А. Мальцев**

**Аннотация:** на основе анализа и исследования известного схемотехнического решения генератора прямоугольных импульсов на RS-триггере был разработан двухканальный генератор-манипулятор прямоугольных импульсов с возможностью манипуляции по амплитуде и по частоте. Описан принцип работы двухканального генератора-манипулятора прямоугольных импульсов и его режимы работы при различных значениях напряжения на выходе управляющих генераторов и различных температурных диапазонах, на основании которого проведены моделирование в САПР Multisim и анализ работы двухканального-генератора манипулятора прямоугольных импульсов. Представлены результаты моделирования в виде графиков, на которых отображена зависимость напряжения на выходе двухканального генератора-манипулятора прямоугольных импульсов при изменении уровня напряжения управляющих генераторов. Данный генератор может быть использован в импульсных радиопередающих устройствах, в измерительной технике в качестве источника прямоугольных импульсов, манипулированных по частоте и по амплитуде. Генератор за счёт изменения его конструкции генерирует и одновременно манипулирует по амплитуде и по частоте генерируемую последовательность прямоугольных импульсов. Это расширяет функциональные возможности известного генератора манипулированных по амплитуде прямоугольных импульсов

**Ключевые слова:** двухканальный генератор, амплитудная манипуляция, частотная манипуляция, асинхронный RS-триггер, МОП-транзисторы, логические элементы

## **ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ПЕЧАТНЫХ МОДУЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА ЭТАПАХ ПРОИЗВОДСТВА И ТЕСТИРОВАНИЯ**

**М.А. Ромащенко, Д.С. Сеимова, С.Н. Рожненко**

**Аннотация:** защита от статического электричества в настоящее время является одной из важнейших задач любой деятельности в области конструирования и производства электронных средств. Осознание рисков, связанных с влиянием импульсных перенапряжений, в том числе и от электростатического разряда, и применение методик защиты от их воздействия становятся все более актуальными для многих предприятий, работающих в области электронной промышленности. Растущие тенденции к миниатюризации приводят к тому, что корпуса некоторых элементов печатного модуля достигают таких небольших размеров, что даже минимальное воздействие электростатического импульса может привести к необратимым повреждениям устройства в целом. Одного электростатического разряда может быть недостаточно для вывода печатного модуля из строя, однако повторяющиеся со временем разряды приведут к ухудшению функционирования, а в дальнейшем и к его полному отказу. Электростатический разряд является одним из основных факторов, способствующих снижению надежности и производительности электронных устройств. В данной статье представлена методика внедрения механизмов защиты печатных модулей электронных средств от электростатического разряда в технологиях CMOS

**Ключевые слова:** электростатический разряд (ЭСР), печатная плата (ПП), электронное средство (ЭС), печатный модуль

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАНАЛА РАДИОСВЯЗИ В СИСТЕМЕ ПОДВИЖНЫХ АБОНЕНТОВ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ**

**О.Н. Чирков**

**Аннотация:** рассматривается проблема оценки канала в системах связи «автомобиль-автомобиль» с поддержкой 5G в условиях высокой скорости перемещения и изменяющихся характеристик среды передачи. Для обеспечения надежной и высокоскоростной беспроводной связи 5G в условиях автомагистрали важно обеспечить точную оценку канала радиосвязи. Для улучшения характеристик оценки и повышения помехоустойчивости систем мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (OFDM) применен расширенный фильтр Кальмана в сочетании с итеративным детектором и декодером в приемнике. Расширенный фильтр Кальмана предложен для совместной оценки частотной характеристики канала и коэффициентов временной корреляции. Для построения более точной матрицы весов фильтра использована итеративная структура приемника на основе апостериорного логарифмического отношения правдоподобия (ЛОП). Применение итеративного подхода в приемном тракте позволит снизить ошибки оценки в расширенном фильтре Кальмана. Моделирование нестационарных каналов радиосвязи в системе подвижных объектов с высокой скоростью перемещения проведено в пакете MatLab. Результаты моделирования показывают, что предложенный подход итеративной оценки канала с расширенным фильтром Кальмана систем OFDM в средах с высокой мобильностью абонентов повышает эффективность оценки канала по сравнению с традиционными методами более чем на 3 дБ

**Ключевые слова:** оценка канала, фильтр Кальмана, детектор, декодер, итеративная оценка, подвижный абонент

## **АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ МАЛЫХ АНТЕНН С ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ, ПРИБЛИЖАЮЩЕЙСЯ К ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ В СООТВЕТСТВИИ С КРИТЕРИЕМ ЧУ-ХАРРИНГТОНА-ЛИ**

**Ю.Г. Пастернак, Е.А. Рогозин, Р.Е. Рогозин, С.М. Фёдоров, М.А. Сиваш**

**Аннотация:** на основе анализа открытых научно-технических литературных источников проведен анализ современных подходов к созданию электрически малых антенн. Описаны важнейшие характеристики, определяющие полосу рабочих частот антенны и её КПД. Приведены результаты исследования добротности электрически малых антенн в зависимости от типа возбуждаемых мод, а также приведены полученные математические выражения для электрически малых антенн оценки добротности. Рассмотрены способы учета потерь в электрических характеристиках антенн. Приведен пример использования электрически малых антенны из половины петли (и схожих конструкций) для установки на различную военную технику, а также представлены графические зависимости, характеризующие влияние размера антенн от числа половин колец. В работе рассмотрен вопрос использования метаматериалов: применение в качестве оболочки для компенсации высокой реактивности, реализация полосковых антенн различных конструкций, применение разорванных кольцевых резонаторов, создание дипольной электрически малой антенны. Также описаны различные способы уменьшения размеров дипольных антенн: реализация вибратора с различной формой плеч (например, древовидной). Представлены различные варианты конструкций спиральных антенн: плоские и объемные, а также приведены некоторые способы их улучшения

**Ключевые слова:** электрически малые антенны, добротность, КПД, полоса пропускания

# МЕТОДИКА МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЙ РЭС НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.С. Потапов, Н.В. Ципина, Ю.В. Худяков, Т.Д. Ижокина, А.О. Кузнецова

**Аннотация:** разработана методика междисциплинарного инженерного анализа конструкций РЭС, изготовленных из программируемых материалов. Благодаря данной методике возможно усовершенствование и упрощение процесса разработки "умных" материалов и развитие самой технологии программируемых материалов. Разработанная методика включает в себя аналитический расчет, численное моделирование в САПР, а также испытание на экспериментальном стенде. В качестве объекта для моделирования был использован слоистый композитный программируемый материал, включающий в свой состав главный действующий элемент, электрореологическую жидкость, меняющую собственные свойства под воздействием внешнего электрического поля. Однако данная методика с небольшими доработками применима и для магнитоэологических материалов. По результатам исследования были установлены свойства нового материала, определено влияние его геометрических параметров, состава, величины внешнего электрического поля на его жесткость, коэффициент демпфирования и возможность противостоять резонансным явлениям. Данная область проектирования является чрезвычайно перспективной в силу своей низкой стоимости, высокой скорости и простоты реализации, а также широко- и легкодоступности. Разработанная методика позволит еще лучше отточить и усовершенствовать технологический процесс, а также изучить свойства разрабатываемых материалов

**Ключевые слова:** междисциплинарный инженерный анализ, электрореологические и магнитоэологические материалы, алгоритм междисциплинарного анализа

## *Машиностроение и машиноведение*

DOI 10.25987/VSTU.2019.15.6.016

УДК 53.072:621.791.4

## ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНОГО ОТЖИГА НА ТОПОГРАФИЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ И ПОВТОРНО–СТАТИЧЕСКУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ СПЛАВА ОТ4

А.Б. Булков, В.В. Пешков, А.Б. Коломенский, Д.И. Бокарев, Г.В. Селиванов

**Аннотация:** нагрев титана до высоких температур приводит к образованию на его поверхности оксидных и газонасыщенных слоев, при этом резко ухудшаются механические характеристики материала и в первую очередь пластичность. В качестве критерия охрупченности поверхностных слоев на титане предложено использовать вид их излома, образующийся при разрушении, например изгибом. Для изучения строения изломов изготавливали полированные образцы размером  $30 \times 10 \times 3$  мм из листового сплава ОТ4, подвергаемые отжигу в вакууме 2,6 Па при температурах 600 – 900 °С и затем разрушали изгибающим усилием. Толщину оксидных пленок оценивали по их интерференционной окраске, а глубину газонасыщенного слоя - замером микротвердости поверхности после регламентированного съема части поверхностного слоя химическим травлением. О влиянии оксидных и газонасыщенных слоев на механические свойства сплава ОТ4 судили по результатам испытаний образцов из листового проката толщиной 0,8 мм на повторно–статическое растяжение при коэффициенте асимметрии цикла  $R=+0,1$ , частоте 0,6–0,8 Гц и напряжении  $\sigma_{max} \approx (0,6 \dots 0,8)\sigma_s$  на установке УММ–10. При изучении строения изломов можно выявить зону хрупкого разрушения, соответствующую распространению трещины в оксиде и охрупченной части газонасыщенного слоя, и зону квазивязкого разрушения, в которой присутствуют гребни отрыва, переходящие в ямочный рельеф, сформировавшийся при распространении трещины в части газонасыщенного слоя, с концентрацией кислорода недостаточной для охрупчивания. Механические испытания образцов показали, что при образовании на поверхности охрупченных слоев глубиной более 20 мкм их долговечность при повторно–статических испытаниях не превышает (15...18) % от долговечности основного материала. Восстановление усталостных характеристик титановых сплавов предложено выполнять удалением поверхностного слоя толщиной не менее толщины охрупченного, например химическим травлением

**Ключевые слова:** титановые сплавы, охрупчивание, излом, циклическая выносливость, химическое травление

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СКРЫТОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ВНУТРЕННИХ ВИНТОВЫХ КАНАВОК С БОЛЬШИМИ УГЛАМИ ПОДЪЕМА СПИРАЛИ

**В.В. Куц, Д.С. Гридин**

**Аннотация:** показаны результаты исследования на основе компьютерного моделирования процесса протягивания с целью установления влияния скорости резания инструмента, обеспечивающей обработку внутренних винтовых канавок с большими углами подъема спирали. Рассмотрены случаи обработки винтовых канавок в тонкостенных деталях протяжкой с различным диапазоном скоростей резания. Предложена новая принципиальная схема обработки для реализации скрытой кинематической связи при обработке внутренних винтовых канавок. Проведены исследования процесса протягивания с целью установления влияния скоростей резания на формирование скрытой кинематической связи, при которых не образуется заусенцев в процессе обработки винтовых канавок. Приведены графики зависимости величины скорости резания от полученного после обработки угла наклона винтовой канавки, а также определены уравнения регрессии, описывающие полученную зависимость. Согласно статистическому анализу данных, полученных из графика, рассчитаны коэффициенты детерминации для линейной регрессии, подтверждающие статистическую значимость полученных коэффициентов. Проведен анализ полученных результатов исследований, согласно которому были установлены рекомендуемые диапазоны скоростей резания для рассмотренных углов наклона спирали при обработке внутренних винтовых канавок с большими углами подъема спирали

**Ключевые слова:** протяжка, винтовая канавка, геометрическая модель, передний угол, задний угол, формообразование

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90057