

## *Информатика, вычислительная техника и управление*

### **СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ЭТИЛБЕНЗОЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**С.Л. Подвальный, А.П. Попов, С.Г. Тихомиров, О.Г. Неизвестный**

**Аннотация:** описывается применение метода предиктивного управления при синтезе автоматизированной системы программного управления производством стирола. На основе результатов системного анализа объекта управления обоснован способ управления технологическим процессом, проведены обзор и оценка возможности использования различных видов регулирующих устройств. В рамках концепции модельно-ориентированного проектирования синтезирована автоматизированная система, реализующая предсказательное функциональное управление (Predictive functional control (PFC)) концентрацией стирола на выходе из первой ступени реакторного блока. Выполнен структурный синтез и разработан алгоритм функционирования управляющей системы. В качестве структурного элемента, выполняющего построение прогнозной траектории изменения управляющего и управляемого параметров, использован комплекс динамических моделей, описывающих теплообменные процессы и физико-химические превращения, протекающие в исследуемой системе. Расчет оптимального значения управляющего воздействия производился с учетом инерционности технологического оборудования, параметров состояния каталитического слоя реактора, энергетических потоков и компонентов реакционной среды в соответствии со сформированным комплексным интегральным критерием энергоэффективности процесса при одновременном обеспечении максимальной производительности. Приведен сравнительный анализ результатов расчета переходных процессов по основному каналу системы управления, полученных при использовании регулятора ПИД-структуры и управляющего устройства, реализующего метод PFC-управления

**Ключевые слова:** прогнозирующее функциональное управление, функциональная структура, алгоритм управления, горизонт прогнозирования, дегидрирование этилбензола

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ**

**С.А. Коваленко, А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова, В.А. Малиновкин**

**Аннотация:** в настоящий момент система онлайн-образования принимает новые масштабы. Потребность в платформе, в которой будет гармонично сочетаться современный функционал и простота пользования, всё больше и больше увеличивается. Использование новейших технических разработок позволяет создавать электронные платформы для организации качественного онлайн-обучения. Представлен обзор платформ, а именно: «Moodle», «iSpring Learn» и «Google Calssroom». Рассматриваемые сервисы имеют большую целевую аудиторию и высокий спрос в сфере онлайн-образования. С помощью них можно осуществлять как очное, так и заочное обучение, хранение информации курса, тестов и лекций, а также производить контроль за прохождением обучения и вести отчетность. Были рассмотрены преимущества и недостатки каждого сервиса. Сравнение платформ производится по ряду характеристик, а именно: удобство интерфейса, мобильность системы (развертывание системы без привлечения специалистов), наличие встроенного редактора курса, наличие видеоконференции, доступность основного функционала, наличие дополнительного функционала, поддержка различного рода файловых расширений, гибкость системы, наличие мобильных приложений, денежные затраты при использовании платформы. Эти аспекты выступают основными при выборе платформы, так как они являются ключевыми при использовании сервисов онлайн-обучения

**Ключевые слова:** хранение информации, управление процессом обучения, платформа для организации качественного образования онлайн

## **ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА О НАЗНАЧЕНИИ ЕДИНИЧНОГО ЗАДАНИЯ С ВРЕМЕННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ**

**С.А. Олейникова, Е.С. Менкова**

**Аннотация:** целью данной работы является разработка математического и программного обеспечения для решения задачи о назначении единичного задания с учетом ограничения на время, в течение которого оно должно быть выполнено. Другой важной особенностью является возможность корректировки уже назначенных, но еще не выполненных задач, поступивших в систему ранее. Необходимость в такой коррекции возникает в случае, если назначение специалиста и времени для данного задания в рамках существующего расписания невозможно. Выбор соответствия между специалистами и заданиями осуществляется с целью достижения максимальной эффективности, получаемой от выполнения задания. В результате получена модель, содержащая комплекс ограничений, учитывающих все особенности задачи, и целевую функцию, максимизирующую эффективность выполнения данной работы, а также всех запланированных, но еще не начатых работ. Кроме того, предложен подход к решению задачи, основанный на взаимодействии интеллектуальных агентов, каждый из которых отвечает за свое задание и осуществляет закрепление за ним специалиста и времени. Новизна подхода основывается на возможности отмены расписания, запланированного ранее, которое может быть вызвано жесткими временными ограничениями и, как следствие, невозможностью решения задачи при имеющихся данных

**Ключевые слова:** задача о назначениях, временные ограничения, математическая модель

## **ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ СВЕТОФОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ И ДЕТЕКТОРА РАДИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ**

**Р.М. Шакирзянов**

**Аннотация:** в настоящее время широкое распространение получают беспилотные системы управления различными транспортными средствами, в том числе автомобилями. Управление беспилотным автомобилем предполагает решение задач, связанных с распознаванием объектов дорожной обстановки: пешеходов, автомобилей, препятствий (в виде ям, кочек, столбов, деревьев, зданий и т.д.), дорожных знаков, разметки, светофоров. Предложен алгоритм решения задачи обнаружения и распознавания сигналов светофоров круглой формы. Для решения этой задачи задействованы: быстрое преобразование радиальной симметрии, цветовая сегментация, морфологические операции. Особенностью алгоритма является то, что области расположения световых сигналов предварительно определяются по цветовому признаку с последующим уточнением формы и положения объектов на изображении. На основе предложенного метода было разработано программное обеспечение для обнаружения сигналов светофоров на фотоснимках. Программное обеспечение было протестировано на общедоступной базе изображений, содержащей светофоры. Предлагаемый алгоритм показал работоспособность, он может быть расширен в части типов распознаваемых сигналов и применён в составе систем управления беспилотными транспортными средствами, а также в составе систем помощи водителю для решения задач по предупреждению опасных и аварийных ситуаций на транспорте

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, обработка изображений, быстрое преобразование радиальной симметрии, цветовая сегментация, определение светофоров

## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА ДОСТИЖИМОСТИ ДЛЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Д.С. Звягин

**Аннотация:** описываются основные определения дерева достижимости сетей Петри. Также рассматриваются различные примеры стохастических сетей Петри, в которых после выставления начальных маркировок в первых позициях определяются значения во всех остальных позициях. Показаны примеры определения маркировок при помощи высчитывания вектора диагональной свертки. Для каждого примера стохастической сети Петри проводится анализ данной сети. Данный анализ необходим для различных распределительных систем и процессов, особенно на заключительном этапе. Основными методами анализа являются дерево достижимости и матричные уравнения. Рассматривается один из таких методов анализа сетей Петри. С использованием дерева достижимости можно проанализировать, выявить и исправить сбои в процессах, которые могут произойти при наличии тупиковых состояний и при неправильной последовательности срабатывания переходов. Исходя из рассмотренных примеров предлагается обобщенный алгоритм построения дерева достижимости для стохастических сетей Петри. Предложенный алгоритм построения дерева достижимости стохастических сетей Петри можно применять для всех сетей как с конечным, так и с бесконечным множеством достижимости. Данный алгоритм будет являться полезным инструментом при анализе стохастических сетей Петри

**Ключевые слова:** моделирование, стохастические сети Петри, дерево достижимости

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕСТРУКЦИИ СШИТЫХ ПОЛИМЕРОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

С.Л. Подвальный<sup>1</sup>, А.П. Попов<sup>2</sup>, А.В. Карманов<sup>1</sup>, Г.С. Тихомиров<sup>3</sup>, Н.К. Образцов<sup>2</sup>

**Аннотация:** проведенные ранее научные исследования в области радиационной деструкции отработанных полимерных материалов, отходов и резинотехнических изделий, а также их термомеханической обработки недостаточны для проектирования и автоматизации технологических линий производства регенерата в промышленных условиях. Представлены результаты разработки системы поддержки принятия решений для процесса регулируемой деструкции смоляных вулканизатов бутилкаучука при комбинированных воздействиях радиационной и термомеханообработки. Разработанная система является основным функциональным элементом синтезируемой системы управления. Определены управляющие параметры для процесса деструкции. Проведен системный анализ процесса получения бутилрегенерата как объекта управления. Предложен способ управления стадиями технологического процесса, при котором используется комбинация управляющих воздействий. Выполнен синтез структуры математического обеспечения системы поддержки принятия решений. Сформированы частные критерии поиска оптимальных параметров, установлена структура связей между ними и выбран метод агрегирования обобщенного критерия. С использованием нечеткого интеграла Шоке и нечеткой меры Сугено разработан алгоритм оценки оптимальных параметров процесса. Задача поиска оптимальных параметров осуществлена с использованием генетического алгоритма. Получены результаты вычислительных экспериментов многокритериальной оптимизации управляющих параметров. Разработан алгоритм управления процессом деструкции при комбинированных управляющих воздействиях

**Ключевые слова:** деструкция, ионизирующее облучение, механообработка, математическая модель, управление процессом, система поддержки принятия решений

## *Радиотехника и связь*

### **АНТЕННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ПЛОСКОЙ ЛИНЗЫ ЛЮНЕБЕРГА СО СКВОЗНЫМИ КРУГЛЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ И ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕМ-РУПОРА**

**А.В. Ашихмин, Ю.Г. Пастернак, В.А. Пендюрин, Ф.С. Сафонов**

**Аннотация:** характерной чертой последних пятидесяти лет было особое стремление к постоянно растущей скорости передачи в сетях беспроводной связи. С появлением Интернета, а именно технологии (IoT), значительные усилия в сфере исследований вкладываются в беспроводные сети, требующие высокой скорости передачи и большой пропускной способности. Рассмотрена линза Люнеберга, спроектированная на заземляющей системе при помощи технологии изготовления круглых отверстий, сверху расположена диэлектрическая пластина с системой круглых отверстий, формирующая необходимый закон изменения эффективного коэффициента преломления от радиуса (материал - Rogers 5880, толщина - 0.508 мм,  $\epsilon_r = 2.2$ ). Особенностью данной конструкции являются сквозные круглые отверстия в плоской линзе Люнеберга. Минимальный диаметр отверстия – 0.4 мм; максимальный – 2.6 мм. Минимальная ширина перегородки между отверстиями – около 0.3 мм. Всего – 1295 отверстий (диаметры - 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6 мм). Показано несколько вариантов реализации данной линзы. Рассмотрено несколько вариантов того, какими должны быть отверстия в теле линзы для предпочтительного режима работы, сделаны выводы о каждом. При помощи математического, численного анализа исследована разница в случаях наличия или отсутствия «крышек» у «чашек», образующих ТЕМ-рупор в виде фигуры вращения

**Ключевые слова:** математическая модель, линза Люнеберга, ТЕМ - рупор, диаграмма направленности

### **ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫ ВИВАЛЬДИ ОТ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПОДЛОЖКИ**

**С.М. Фёдоров, А.С. Бадаев, Е.А. Ищенко, Е.В. Папина, К.А. Бердников, С.И. Деревянкин**

**Аннотация:** рассматривается антенна Вивальди, рабочий диапазон которой соответствует частотам, выделенным Государственной комиссией по радиочастотам для сетей пятого поколения. Применение различных проводниковых материалов при изготовлении излучателя позволяет достичь как экономических преимуществ, так и требуемых характеристик диаграмм направленности. В процессе моделирования были определены обратные потери антенны, а также влияние на них материала изготовления проводящей части антенны, диаграммы направленности, коэффициента полезного действия. Все характеристики определялись путем электродинамического моделирования. Исследование производилось для таких проводящих материалов, как медь, алюминий, золото, серебро, железо, платина, тантал, молибден. По полученным результатам было определено, что наилучшим проводником является серебро, при этом медь и алюминий не сильно уступают ему по характеристикам излучения и эффективности. Наихудшими материалами изготовления проводниковой части антенны являются тантал, железо и платина, так при их применении происходит снижение коэффициента полезного действия антенны, реального коэффициента усиления антенны. В статье представлены графики  $S_{11}$ -параметров для исследуемых случаев, произведено их сравнение, а также приведены основные характеристики диаграмм направленности и определено влияние на них проводниковых материалов

**Ключевые слова:** антенна Вивальди, матрица рассеяния, обратные потери, диаграмма направленности, проводниковые материалы

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ С ПАМЯТЬЮ НА ПЛИС

А.А. Пирогов, Ю.А. Пирогова, С.А. Гвозденко, Д.В. Шардаков, Э.В. Сёмка

**Аннотация:** программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) - это настраиваемые интегральные схемы, логика которых определяется программированием. ПЛИС производятся полностью в готовом виде, т.е. относятся к стандартной продукции, что сопровождается известными преимуществами - массовым производством и снижением затрат. Благодаря регулярной структуре ПЛИС реализованы с уровнем интеграции, близким к максимально эффективному. Использование ПЛИС позволяет получить устройства, которые могут менять конфигурацию, подстраиваясь под конкретную задачу, благодаря своей гибко изменяемой, программируемой структуре. При разработке сложных устройств в качестве компонентов для проектирования могут использоваться готовые блоки: IP-ядра или сложно-функциональные блоки (СФ-блоки). Применение программных СФ-блоков позволяет максимально эффективно использовать их в итоговом проекте, таким образом во многом снижаются затраты на проектирование. Цель работы – изучение методики описания триггеров на языке VHDL, применения встроенного схемного редактора Active HDL для формирования структур различных цифровых автоматов и верификации моделей на логическом уровне. В данном исследовании рассмотрены схемы генераторов псевдослучайных последовательностей, которые находят применение в задачах криптографии, где свойства программируемой структуры ПЛИС достаточно актуальны

**Ключевые слова:** цифровые автоматы с памятью, программируемая логика, временная диаграмма

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ АПЕРТУРЫ ФАР, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ СЕГМЕНТО-ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АНТЕНН

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

**Аннотация:** решение задачи связи в Арктике, а также в тундре, в тайге, в лесу, в море, на полях возможно только с использованием мобильных систем спутниковой связи. ФГУП «Космическая связь» (г. Москва) располагает группировкой спутников, которая постоянно расширяется. Для надежной связи в Арктике и в северных широтах, помимо геостационарных спутников, запущены спутники, движущиеся по высокоорбитальным траекториям. Для переключения со спутника на спутник, входящий в зону видимости абонента, необходимо использовать антенные решетки. Проблема заключается в том, что в настоящее время отсутствуют мобильные терминалы высокоскоростной спутниковой связи, а стоимость зарубежных аналогов препятствует широкому их использованию (достигает 50 тысяч долларов). Обычно радиолокационная связь (РЛС) с фазированной антенной решеткой используется для наблюдения за тысячами угловых точек, для отслеживания сотни целей. Такие требования могут быть выполнены только путем сканирования луча в пространстве в течение микросекунды. Ясно, что необходимо электронное управление лучом, поскольку механически вращать антенну не представляется возможным. Лишь некоторая часть вышеуказанных проблем будет затрагиваться в этой статье, ниже будут представлены электронная модель антенной решетки и её математическая модель

**Ключевые слова:** математическая модель антенной решетки, сегменто-параболическая антенна

## СТОХАСТИЧЕСКОЕ ДЕКОДИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ БЛОЧНЫХ КОДОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОВЕРОЧНЫХ МАТРИЦ

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

**Аннотация:** для итеративного декодирования на графах используется новый альтернативный подход - это стохастическое декодирование. Возможность стохастического декодирования была недавно предложена для декодирования LDPC-кодов. Эта статья расширяет применение стохастического подхода для декодирования линейных блочных кодов с помощью проверочных матриц (PCM), таких как коды Боуза – Чоудхури – Хоквингема (BCH), коды Рида – Соломона (RS) и блочные турбокоды на основе компонентов кодов BCH. Показано, как стохастический подход способен генерировать информацию мягкого выхода для итеративного декодирования с мягким входом и мягким выходом Soft - Input Soft - Output (SISO). Описывается структура стохастических переменных узлов высокой степени, используемых в кодах с помощью проверочных матриц PCM. Результаты моделирования для кода BCH (128, 120), кода RS (31, 25) и RS (63, 55) и турбокода блока BCH (256, 121) и (1024, 676) демонстрируют эффективность декодирования при закрытии к итеративному декодеру SISO с реализацией с плавающей запятой. Эти результаты показывают производительность декодирования, близкую к адаптивному алгоритму распространения доверия и/или турбо-ориентированному адаптированному алгоритму распространения доверия

**Ключевые слова:** стохастическое декодирование, низкоплотностный декодер, проверочная матрица

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗГИБА RFID МЕТКИ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**С.М. Фёдоров, Е.А. Ищенко, Е.В. Папина, К.А. Бердников, Ю.Д. Савкина**

**Аннотация:** рассматривается пассивная радиочастотная метка, которая находится на гибкой подложке, что приводит к появлению проблемы с изменением характеристик при изгибе метки. В процессе исследования производилось моделирование для трех ситуаций: плоской метки, изогнутой внутрь и наружу. Благодаря современным методам электродинамического моделирования возможно определить все основные характеристики RFID метки – в активном режиме: обратные потери, диаграмму направленности; в пассивном режиме: диаграмму обратного рассеяния, токи и напряжения в нагрузке. При моделировании были построены графики зависимости амплитуд токов и напряжений в нагрузке от частоты, пиковые значения эффективной площади рассеяния. Благодаря полученным данным можно определить наиболее оптимальные частоты для облучения RFID метки, чтобы обеспечить ее работу в активном режиме (высокие токи и напряжения в нагрузке), а также в режиме обнаружения – большие значения ЭПР. Приводятся графики и таблицы для сравнения исследуемых случаев, по которым видны изменения характеристик при изгибе метки, что делает невозможным применение системы в широких диапазонах частот, так как стоит учитывать ее возможные изгибы

**Ключевые слова:** RFID метка, диаграмма обратного рассеяния, эффективная площадь рассеяния

## РАЗРАБОТКА РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

А.А. Пирогов, Ю.А. Пирогова, С.А. Гвозденко, Д.В. Шардаков, Б.И. Жилин

**Аннотация:** цифровая фильтрация распознаваемых сигналов является неременной процедурой при обнаружении и распознавании сообщений. Под фильтрацией понимают любое преобразование сигналов, при котором во входной последовательности обрабатываемых данных целенаправленно изменяются определенные соотношения между различными параметрами сигналов. Системы, избирательно меняющие форму сигналов, устраняющие или уменьшающие помехи, извлекающие из сигналов определенную информацию и т.п., называют фильтрами. Соответственно, фильтры с любым целевым назначением являются частным случаем систем преобразования сигналов. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) представляют собой конфигурируемые интегральные схемы, логика работы которых определяется посредством их программирования. Применение ПЛИС для задач цифровой обработки сигналов позволяет получать устройства, способные менять конфигурацию, подстраиваться под определенную задачу за счет их гибко изменяемой, программируемой структуры. При разработке сложных устройств могут применяться в качестве компонентов для проектирования готовые блоки – IP-ядра или сложно-функциональные блоки (СФ-блоки). Использование программных СФ-блоков позволяет наиболее эффективно задействовать их в конечной структуре, в значительной степени сократить затраты на проектирование. Цель работы состоит в построении RTL модели СФ-блока цифровой обработки сигналов, его верификации как на логическом уровне, так и физическом

**Ключевые слова:** цифровая обработка сигналов, программируемая логика, временная диаграмма

## МЕТОДИКА СБОРА И ОЦЕНКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМП НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА

М.А. Ромашенко, Д.В. Васильченко, А.Л. Неклюдов, С.Н. Рожненко, К.Ч. Колбая

**Аннотация:** в настоящее время перед разработчиками радиоэлектронных устройств стоит множество проблем, которые необходимо учитывать в процессе проектирования радиоэлектронных средств (РЭС). Одной из таких проблем является обеспечение бесперебойной работы устройства в неблагоприятной для него радиоэлектронной обстановке и прохождение обязательной сертификации изделия по стандартам помехозащищенности. Ярким примером неблагоприятной радиоэлектронной обстановки являются современные города, где присутствует множество промышленных помех, обусловленных активным использованием и высокой концентрацией высокочастотных средств связи, радиостанций, сетевых технологий, компьютерной аппаратуры и бытовых приборов. Такая большая концентрация радиоэлектронного оборудования при работе вызывает множество внешних электромагнитных полей, которые негативно сказываются на работоспособности других электронных устройств, вызывая их сбои и нарушение работоспособности в целом. Статья рассматривает основные принципы методики анализа данных при тестировании электронных средств на воздействие электромагнитного излучения. Проблема, на решение которой направлена данная методика — выявление степени устойчивости электронных средств к воздействию электромагнитного излучения на этапе их проектирования. Методика описывает сбор данных из аппаратной части комплекса тестирования электронных средств на воздействие электромагнитных помех, а также дальнейшую их обработку на основании базы эвристических решений

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, поляризация электромагнитных волн, электромагнитные помехи, проектирование электронных средств, сертификация, испытания, тестирование, повышение качества

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЛИНЗЫ РОТМАНА, ВЫПОЛНЕННОЙ НА ОСНОВЕ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ**

**Ю.Г. Пастернак, В.А. Пендюрин, Ф.С. Сафонов**

**Аннотация:** печатные линзы Ротмана из-за своей достаточной простоты построения и за свои широкополосные свойства, а именно за счет коэффициента частотного перекрытия (может достигать 2-3 и даже более), являются одним из основных перспективных направлений для формирования лучей в многолучевых антенных решетках (МАР). Принцип работы таких линз основан на различных путях распространения волны внутри ее структуры, благодаря которому линза может работать в сверхширокой полосе частот. Но из-за этого возникает новая проблема, а именно: увеличение габаритных размеров антенной системы. Вследствие чего такую конструкцию очень сложно интегрировать в компактную систему приемопередатчика. Эту проблему предлагается решить путем разработки более компактной линзы Ротмана, сложенной пополам. Такой кардинальный метод изменения (уменьшения) габаритных размеров линзы Ротмана мы объясняем тем, что основным типом волны, переносящим подавляющую долю энергии, является волна ТЕМ, для которой практически отсутствует дисперсия в СВЧ-ламинатах с малыми потерями. А для радиолокации, радиопеленгации и связи нужны именно такие способы решения технических трудностей. Но перед тем как создать опытную модель или макет антенной решетки, необходимо провести ряд экспериментов, расчетов и подтвердить заданные технические характеристики ФАР. В данной работе была создана и посчитана математическая модель линзы Ротмана, основанная на том, что ее свернули пополам

**Ключевые слова:** математическая модель, модифицированная линза Ротмана, ТЕМ-волна

## **РАЗВЯЗКА АНТЕНН ВИВАЛЬДИ В СОСТАВЕ МИМО АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

**С.М. Фёдоров, Е.А. Ищенко, И.А. Зеленин, Е.В. Папина, Е.Д. Меньшикова, С.И. Деревянкин**

**Аннотация:** рассматривается МИМО антенная решетка, сформированная из двух антенн Вивальди, которые должны обеспечить работу в частотном диапазоне, выделенном для сетей пятого поколения – 24,25-24,65 ГГц. Для определения основных параметров антенны применялось моделирование, на основе которого были установлены основные характеристики МИМО антенной решетки: коэффициент корреляции огибающей, коэффициент усиления при разнесенном режиме, эффективность сложения. По результатам было определено, что при расстоянии между антеннами в 6,13 мм достигаются максимально возможные характеристики МИМО антенной решетки, а для стабильного функционирования достаточным является расстояние в 2,45 мм. В статье приводятся размеры исследуемой антенны, графики обратных потерь ( $S_{11}$  - параметров), диаграммы направленности, коэффициентов корреляции огибающих, коэффициента усиления при разнесенном режиме, эффективности сложения при различных расстояниях между антенными элементами. Обеспечение стабильности работы МИМО антенной решетки является важной задачей, так как все современные системы связи используют эту технологию для реализации многоканальной передачи, а следовательно, для повышения скорости передачи информации. Для определения геометрических характеристик и выполнения моделирования применялось специализированное программное обеспечение

**Ключевые слова:** МИМО антенная решетка, коэффициент корреляции огибающей, коэффициент усиления при разнесенном режиме, эффективность сложения, связь пятого поколения, антенна Вивальди



## *Машиностроение и машиноведение*

### **ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ РИСКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИФТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Ю.Н. Скорская, П.В. Витчук, В.Ю. Анцев, Н.Н. Трушин**

**Аннотация:** приведены исследования, относящиеся к тематическому направлению оценки риска эксплуатации лифтового оборудования при помощи статистического подхода. Субъективность методов квалиметрической оценки снижения рисков эксплуатации лифтов дала возможность авторам предложить статистический подход к оценке во всех случаях, где это возможно. Наиболее сложными и ответственными этапами анализа и оценки риска эксплуатации лифтового оборудования является сбор информации, необходимой для установления законов распределения сроков службы и определения гамма-процентных ресурсов его конструктивных элементов, а также детальное изучение всех обстоятельств возникновения этих отказов. Анализ статистических данных, проведенный авторами, позволил исследовать долговечность отдельных элементов лифтового оборудования и использовать эти данные для оценки срока службы и обоснования рисков эксплуатации как лифта в целом, так и отдельных его элементов. А проведение анализа причин выхода из строя элементов оборудования позволило дать оценку необходимости проведения мероприятий по повышению их сроков службы, надежности и качества обслуживания. Современные методы компьютерной обработки информации в сочетании с внедрением системы самодиагностики лифтового оборудования могут существенно повысить эффективность системы технического обслуживания лифтов, а своевременное диагностирование – минимизировать аварии и обеспечить безопасность передвижения

**Ключевые слова:** лифт, риск, отказ, безопасность, статистический подход

### **ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ ТИТАНА**

**А.Б. Булков, В.В. Пешков, И.Б. Корчагин, Г.В. Селиванов**

**Аннотация:** цель данной работы - установление влияния физико-химического состояния контактных поверхностей титана, характеризуемых толщиной оксидных пленок, охрупченных и газонасыщенных слоев, на их взаимодействие при диффузионной сварке. Исследования проводились на цилиндрических образцах из титанового сплава ОТ4, контактная поверхность одного образца представляла собой круговой конус с углом при вершине 120°, второй образец имел плоскую поверхность. Формирование поверхностных слоев производилось путем отжига образцов в вакууме 2,6 Па при температуре 750 °С в течение 10 мин, что сопровождалось образованием на контактных поверхностях оксидных пленок толщиной 51,5 нм, охрупченных слоев глубиной ~3,5 мкм и газонасыщенных слоев глубиной до 16 мкм. Частичное удаление газонасыщенного слоя с контактных поверхностей перед диффузионной сваркой осуществлялось регламентированным химическим травлением в смеси азотной и плавиковой кислот. Диффузионная сварка выполнялась при температуре 900 °С и давлении 5 МПа в течение 3 мин в вакууме  $3 \cdot 10^{-2}$  Па с дополнительной защитой от окисления экраном из титановой фольги. Качество сварного соединения оценивали путем испытаний на статическое растяжение, визуальной оценкой топографии поверхностей разрушения и определением содержания кислорода в поверхностных слоях рентгеноспектральным микроанализом. Установлено, что при диффузионной сварке титана параметром, характеризующим физико–химическое состояние контактных поверхностей и ответственным за развитие процесса их взаимодействия, является толщина поверхностного охрупченного слоя. Удаление перед сваркой с предварительно окисленных контактных поверхностей охрупченного слоя обеспечивает развитие процесса образования химических связей между свариваемыми поверхностями и формирование диффузионного соединения с прочностью на уровне основного металла, а при удалении несколько большей толщины охрупченного слоя – рост прочности при испытаниях на статический разрыв

**Ключевые слова:** титан, отжиг, газонасыщенные слои, прочность, топография