

## *Информатика, вычислительная техника и управление*

### **МОНИТОРИНГ И ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

**С.Л. Добрынин, В.Л. Бурковский**

**Аннотация:** произведен обзор технологий в рамках концепции четвертой промышленной революции, рассмотрены примеры реализации новых моделей управления технологическими процессами на базе промышленного интернета вещей. Описано техническое устройство основных подсистем системы мониторинга и контроля, служащей для повышения осведомленности о фактическом состоянии производственных ресурсов в особенности станков и аддитивного оборудования в режиме реального времени. Архитектура предлагаемой системы состоит из устройства сбора данных (УСД), реализующего быстрый и эффективный сбор данных от станков и шлюза, передающего ликвидную часть информации в облачное хранилище для дальнейшей обработки и анализа. Передача данных выполняется на двух уровнях: локально в цехе, с использованием беспроводной сенсорной сети (WSN) на базе стека протоколов ZigBee от устройства сбора данных к шлюзам и от шлюзов в облако с использованием интернет-протоколов. Разработан алгоритм инициализации протоколов связи между устройством сбора данных и шлюзом, а также алгоритм выявления неисправностей в сети. Расчет фактического времени обработки станочных подсистем позволяет более эффективно планировать профилактическое обслуживание вместо того, чтобы выполнять задачи обслуживания в фиксированные интервалы без учета времени использования оборудования

**Ключевые слова:** распределенные системы управления, промышленный интернет вещей, мониторинг, предиктивная аналитика, беспроводные сети, микроконтроллер

### **ПОИСК КИНЕТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПОЛИЦЕНТРОВОЙ БЕЗОБРЫВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДИЕНОВ**

**Э.Р. Гиззатова, С.Л. Подвальный, С.И. Спивак**

**Аннотация:** приводится методика решения обратной кинетической задачи поиска констант скоростей полимеризационного процесса для кинетически неоднородных каталитических систем Циглера-Натта. Неоднородность катализаторов рассматривается как существование нескольких типов активных центров, параллельно друг другу ведущих процессы роста и обрыва полимерных цепей. Кинетическая схема процесса исключает материальный обрыв цепи, что влечет передачу активности с одного центра на другой. Наблюдаемое условие постоянства концентрации активных центров является уравнением материального баланса полимеризационной системы. Оно соблюдается в математической модели, описывающей процесс в виде автономной системы, содержащей бесконечное число обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка по мономеру, преобразованной методом моментов к конечному виду. Отмечено, что статистические моменты, присутствующие в системе дифференциальных уравнений, являются начальными моментами молекулярно-массового распределения. На их основе даны аналитические зависимости для искомых средних молекулярных масс образующихся полимеров на каждом типе активных центров и всего полимерного образца. Расчетный эксперимент проведен для процесса полимеризации изопрена на 4-центральной ванадийсодержащей каталитической системе с целью получения решения обратной кинетической задачи. Найдены совокупный набор констант скоростей элементарных стадий процесса. Показаны графические иллюстрации сравнений расчетов и экспериментов по значениям средних молекулярных масс по каждому типу активных центров и всего полимера в целом

**Ключевые слова:** полимеризация, математическая модель, кинетическая неоднородность, метод моментов, катализаторы Циглера-Натта

# УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ В ПРОЦЕССЕ ТРЁХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАГРЕВАЕМОГО СОПЛА

А.А. Осколков, И.И. Безукладников, Д.Н. Трушников

**Аннотация:** статья посвящена трёхмерной печати по технологии FFF/FDM. Большинство существующих на рынке FDM 3D-принтеров используют косвенный резистивный метод нагрева сопла и стандартные термоэлектрические методы контроля температуры, что обуславливает высокую тепловую инерционность системы нагрева и невозможность обеспечения достаточной скорости и точности контроля температуры. Невозможность управления температурой сопла в процессе печати приводит к непостоянному качеству межслоевого спекания и неоднородности внутреннего объёма напечатанных изделий. Для минимизации или устранения перечисленных недостатков используется индукционная система нагрева сопла минимальной тепловой массы. При этом для контроля температуры сопла предлагается резонансный (вихретоковый) метод. Для реализации данного метода контроля температуры требуется определить зависимость электрических параметров материала сопла от температуры. Для определения данной зависимости был разработан лабораторный стенд, состоящий из источника питания, генератора колебаний высокой частоты, катушки-индуктора, измерительной катушки, блока регистрации и обработки измерительного сигнала. Представлены методика получения измерительного сигнала и методика обработки измеренного сигнала для получения зависимости величины данного сигнала от температуры. Предложены стратегии управления температурой сопла на основе полученных зависимостей. Представлены результаты экспериментов, подтверждающие заявленные характеристики системы

**Ключевые слова:** FFF, FDM, 3D-печать, индукционный нагрев, вихретоковый контроль, измерительная катушка, сдвиг фазы, резонанс

## НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД АДАПТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕРФЕЙСА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.Д. Обухов, М.Н. Краснянский, М.С. Николюкин

**Аннотация:** рассматривается проблема выбора оптимальных параметров интерфейса в информационных системах с целью его персонализации под предпочтения пользователя и возможности его оборудования. В настоящее время для ее решения используется алгоритмическое обеспечение и статистическая обработка предпочтений пользователей, что не обеспечивает достаточной гибкости и точности. Поэтому в данной работе предлагается применение разработанного метода адаптации параметров интерфейса, основанного на анализе и обработке пользовательской информации с помощью нейронных сетей. Научная новизна метода заключается в автоматизации сбора, анализа данных и настройки интерфейса за счет использования и интеграции нейронных сетей в информационную систему. Рассмотрена практическая реализация предлагаемого метода на Python. Экспертная оценка адаптивности интерфейса тестовой информационной системы после внедрения разработанного метода показала его перспективность и эффективность. Разработанный метод показывает лучшую точность и низкую сложность программной реализации относительно классического алгоритмического подхода. Полученные результаты могут использоваться для автоматизации процесса выбора компонентов интерфейса различных информационных систем. Дальнейшие исследования заключаются в развитии и интеграции разработанного метода в рамках фреймворка адаптации информационных систем

**Ключевые слова:** адаптация интерфейса, персонализация, машинное обучение, искусственные нейронные сети, электронный документооборот

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых МК-74.2020.9

## **СБОР И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СКАНИРОВАНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ**

**В.Ф. Барабанов, А.О. Калашников, А.М. Нужный**

**Аннотация:** рассмотрены вопросы получения и автоматизации обработки данных электромагнитного сканирования дорожной одежды с последующей визуализацией. В качестве инженерного оборудования для георадарного обследования использован георадар «ОКО». В результате сбора и анализа данных электромагнитного сканирования выявлены деструктивные участки дорожного покрытия. На основании изучения методов обработки, интерпретации визуализации данных георадарного сканирования принято решение о необходимости разработки специализированных средств автоматизации анализа таких данных при сканировании дорожных конструкций. Произведен анализ методов и средств, используемых для обработки данных радарограмм, рассмотрены структура файла хранения данных электромагнитного сканирования и доступные в программе «GeoScan32» средства обработки и конвертации данных. Предложена последовательность действий для реализации процедуры поиска трасс, характеризующихся недопустимым уровнем отклонения характеристик сигнала от средних значений

**Ключевые слова:** электромагнитное сканирование, дорожная одежда, автоматизированная обработка данных, визуализация, диагностика

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ТРАФИКА В КОРПОРАТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

**Л.И. Абросимов, М.А. Руденкова, Х. Хаю**

**Аннотация:** целью работы является повышение качества обслуживания мультимедийного трафика в корпоративных беспроводных локальных вычислительных сетях за счёт средств, обеспечивающих согласование интенсивности мультимедийного трафика и производительности беспроводной локальной вычислительной сети. Для достижения поставленной цели установлены зависимости математического ожидания времени обслуживания пакета с помощью дискретно-событийного моделирования для заданных структур беспроводной локальной вычислительной сети. Разработана аналитическая модель беспроводной локальной вычислительной сети и получены математические соотношения для расчёта гарантированной интенсивности мультимедийного трафика. С помощью дискретно-событийного моделирования и полученных математических соотношений установлены зависимости гарантированной интенсивности мультимедийного трафика для заданных параметров структуры беспроводной локальной вычислительной сети, параметров беспроводного канала связи и канальных протоколов управления доступом

**Ключевые слова:** корпоративные беспроводные локальные вычислительные сети, протоколы управления доступом, оценка производительности, качество обслуживания

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАКТОРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НАСТРОЕК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВОК КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

**В.В. Бабенко, И.А. Хайченко, Ю.В. Нефедов**

**Аннотация:** рассматривается способ координации настроек локальных систем автоматического регулирования установок компенсации реактивной мощности (РМ) городской системы электроснабжения для достижения оптимального режима работы всей системы по критерию минимума потерь электрической энергии. На основе анализа базы данных автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии МУП «Воронежская горэлектросеть» за пять лет определено, что величина  $\text{tg } \varphi$  (коэффициент реактивной мощности) не соответствует нормируемым ГОСТом значениям и требует существенной корректировки для снижения потерь электрической энергии. Оптимальный режим управления рассматриваемой системой электроснабжения по месту подключения и величине реактивной мощности требуемых установок компенсации возможен при правильном соотношении выбранных критериев локальной и системной оптимизации режимов работы ГЭС. Определено, что для получения экономически обоснованного эффекта от оптимизации режима работы ГЭС по критерию достижения  $\text{tg } \varphi$  не более 0,35 необходима установка устройств компенсации РМ как минимум на 50% -70% всех параметров реактивной мощности узла нагрузки (РП) энергоёмких потребителей. Кроме того, показана целесообразность использования при данном способе компенсации реактивной мощности регрессионного принципа автоматического управления, базирующегося на методе факторного планирования эксперимента. При наличии базы данных параметров городской системы электроснабжения возможно получить серию уравнений регрессии, являющихся основой для настроек локальной системы управления установок компенсации реактивной мощности, которые необходимо установить в основных узловых точках РП МУП «Воронежская горэлектросеть». Установлено, что сформированные на базе уравнений регрессии параметры для системы управления успешно могут быть интегрированы в современные цифровые микропроцессорные регуляторы установок компенсации реактивной мощности сложных систем электроснабжения

**Ключевые слова:** снижение потерь электроэнергии, метод факторного планирования эксперимента, система управления, регулирование реактивной мощности

## СИНТЕЗ ВЫСОКОТОЧНЫХ СИСТЕМ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Е.М. Васильев, Е.А. Сердечная, А.В. Таволжанский**

**Аннотация:** решается задача синтеза систем модального управления с высоким порядком астатизма. Показано, что традиционный подход к решению этой задачи, заключающийся в последовательном и независимом обеспечении требований к характеру переходного процесса и к показателям его точности, сталкивается с необходимостью принятия проектных решений при неполных условиях. Игнорирование указанного обстоятельства на практике приводит к получению компромиссных результатов с нежелательными отклонениями от технических требований. При проектировании высокоточных систем такие отклонения становятся недопустимыми. Для преодоления указанной трудности предложен переход к интервальным методам постановки и решения задач модального синтеза. Теоретическая возможность такого перехода основана на избыточном многообразии возможного размещения собственных чисел характеристической матрицы системы в её спектре. Рассмотрен пример реализации указанной возможности для системы с модальным регулятором, в структуру которой введена дополнительная обратная связь по выходу. Для этой структуры сформирована система ограничений, накладываемых на спектр указанной матрицы, которые определяют одновременное выполнение требований к монотонности переходного процесса, времени регулирования и к точности отработки гармонических воздействий. Отмечено, что неединственность получаемого решения создаёт предпосылки для многоальтернативного подхода к проектированию системы. Возможности интервального анализа продемонстрированы также на примере системы, в структуру которой введён дифференцирующий наблюдатель задающего воздействия. Показано, что в результате такого анализа могут быть получены граничные условия задачи синтеза, гарантирующие получение требуемых показателей качества системы. Для всех примеров, рассмотренных в работе, представлены результаты имитационного моделирования, подтверждающие работоспособность предложенного метода

**Ключевые слова:** модальное управление, следящие системы, колебательность, точность регулирования

## МОДЕЛЬ ДИАГОНАЛЬНЫХ КОММУТАЦИЙ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ МАССИВОВ ДАННЫХ

Е.А. Титенко, Е.В. Талдыкин, В.Л. Бурковский

**Аннотация:** объект исследования – алгоритмы параллельной сортировки с применением базовой операции «сравнение-обмен». Цель исследования – сокращение шагов работы алгоритма сортировки массива данных за счет уменьшения количества промежуточных перестановок элементов массива. Цель достигается разработкой оригинальной схемы коммутаций элементов массива. Данная схема составляет основу модели диагональных коммутаций пар элементов массива. Массив имеет  $2d$ -представление, что позволяет объединить в пары элементы из его различных половин. За счет  $2d$ -представления массива образуемые пары элементов позволяют уменьшить количество перестановок. Новизна модели диагональных коммутаций состоит в том, что операции «сравнение-обмен» параллельно выполняются на неконфликтующих парах элементов, взятых из различных половин массива. Это свойство модели позволяет «прыжками» перемещать элемент в необходимую позицию массива. Модель диагональных коммутаций объединена с известной моделью четно-нечетной сортировки. В результате объединения был получен алгоритм параллельной сортировки с гибридной схемой коммутации. Эта схема реализует на четных шагах предложенную модель, а на нечетных шагах - модель четно-нечетной сортировки. Моделирование алгоритмов четно-нечетной сортировки и гибридной сортировок показало преимущество разработанной модели. Расширение четно-нечетной сортировки моделью диагональных коммутаций позволяет сократить среднее число шагов сортировки. Кроме четно-нечетной сортировки, модель диагональных коммутаций применима для алгоритмов параллельной сортировки, использующих базовую операцию «сравнение-обмен» - сортировки Батчера, Шелла, слиянием

**Ключевые слова:** пара элементов, обмен,  $2d$ -массив, инверсия перестановок, гибридная схема

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ УДАРНОГО УСТРОЙСТВА СТЕРЖНЕВОГО ТИПА РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ

А.М. Слиденко, В.М. Слиденко

**Аннотация:** приводится анализ механических колебаний элементов ударного устройства с помощью модели стержневого типа. Ударник и инструмент связаны упругими и диссипативными элементами, которые имитируют их взаимодействие. Аналогично моделируется взаимодействие инструмента с рабочей средой. Сформулирована начально-краевая задача для системы двух волновых уравнений с учетом переменных поперечных сечений стержней. Площади поперечных сечений определяются параметрическими формулами при сохранении объемов стержней. Параметрические формулы позволяют получать различного вида зависимости площади поперечного сечения стержня от его длины. Начальные условия отражают физическую картину взаимодействия инструмента с ударником и рабочей средой. Краевые условия описывают контактные взаимодействия ударника с инструментом и последнего с рабочей средой. В качестве модельной задачи рассматривается соударение ударника и инструмента через элемент большой жесткости. Начально-краевая задача исследуется разностным методом. Проводится сравнение решений задачи, полученных с помощью двухслойной и трехслойной разностных схем. Такие схемы реализованы в общей компьютерной программе в системе Mathcad. Показано, что при вычислениях распределения нормальных напряжений по длине стержня лучшими свойствами относительно устойчивости обладает двухслойная схема

**Ключевые слова:** ударные нагрузки, разностные методы, метод Фурье, колебания, краевые условия, переменное сечение

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ ПРОСТЫХ ТЕЛ

**С.А. Антипов, А.В. Володько, Е.А. Ищенко, В.Н. Кострова,  
К.А. Разинкин, С.М. Фёдоров**

**Аннотация:** рассмотрены картины моностатической эффективной площади рассеяния для простых геометрических тел. Для простой металлической пластины был произведен теоретический расчет значения эффективной площади рассеяния (ЭПР), а также произведено моделирование с использованием метода Вейланда, по результатам которого были доказаны точность и эффективность моделирования в специализированном программном обеспечении (ПО). Для определения эффективной площади рассеяния шара рассматривались три случая: когда размеры шара превосходят длину волны; размеры малы, а в качестве материала изготовления выбран проводник; при сохранении размеров материал изготовления заменяется на диэлектрик – стекло. По полученным результатам сделаны выводы о важности сопоставления длины волны с геометрическими размерами тела, а также о положительном влиянии диэлектрических материалов на значение ЭПР. При исследовании цилиндра рассматривались два случая, которые могут возникнуть при исследовании ЭПР цилиндрического объекта, а именно, когда волна падает на боковую поверхность тела и на верхнюю грань. Было показано, что наихудшие значения эффективной площади рассеяния наблюдаются при падении плоской волны на верхние – идеально плоские грани цилиндра. Приведены результаты в виде картин моностатической ЭПР, максимальных значений эффективной площади рассеяния

**Ключевые слова:** эффективная площадь рассеяния, моностатическая ЭПР

## ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕЛИЧИНЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ОПТИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО МЕТОДЫ ПРЯМОГО И ГЕТЕРОДИННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

**А.Ю. Козирацкий, А.И. Гревцев, Р.И. Буров**

**Аннотация:** рассматриваются вопросы, связанные с определением возможностей использования фотодетекторов в различных схемах детектирования при приеме сигналов с изменяющейся амплитудой. Определены особенности влияния реализуемых на практике схем детектирования на величину динамического диапазона фотодетектора и потенциально достижимую чувствительность. Разработан подход, позволяющий провести сравнительную оценку изменения величины динамического диапазона в зависимости от реализуемой схемы оптического приемника. Показано, что в отличие от схемы прямого детектирования, где величина динамического диапазона напрямую определяется свойствами самого фотодетектора, при гетеродинном детектировании основную роль в определении указанной величины играет уровень опорного колебания. Анализ полученных результатов показывает, что адаптивное управление величиной опорного колебания при переходе к схеме гетеродинного детектирования с сохранением типа фотодетектора позволяет не только существенно расширить диапазон изменения амплитуды принимаемых сигналов и максимизировать величину динамического диапазона, но и реализовать потенциально достижимую чувствительность, величина которой определяется шумовыми свойствами самого фотодетектора. Конкретизация типа рассматриваемых фотодетекторов позволила ограничиться рассмотрением только теплового и дробового шумов. Определение величины динамического диапазона для других типов фотодетекторов в рамках данного подхода возможно с учетом присущих им шумовых свойств

**Ключевые слова:** фотодетектор, динамический диапазон, методы приема оптических сигналов, чувствительность

# МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, РЕАЛИЗОВАННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ МНОГОЛУЧЕВОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ (OFDM-MIMO)

**А.В. Башкиров, О.Ю. Макаров, А.С. Демихова, М.В. Долженко, О.В. Ильина**

**Аннотация:** предложен метод сочетания мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) с пространственно-временным блочным кодированием (STBC). Предлагаются коды с пониженной сложностью декодирования и высокой эффективностью использования полосы пропускания. Большинство работ по данной тематике предлагают комбинацию кодов STBC-OFDM для ситуаций, где параметры канала известны заранее и прошиты в приемнике. С внедрением новых методов оценки каналов моделируются и анализируются реальные условия, чтобы предложить методы, подходящие для эффективной работы будущих беспроводных технологий, таких как 5G. Исследована методика оценки каналов для систем STBC-OFDM с использованием различного количества передающих и приемных антенн, различного порядка модуляции для пилотных и информационных поднесущих, различного количества пилотных поднесущих и различных условий состояния канала. Представлены результаты моделирования для 2-х и 4-х передающих антенн и 1-х и 2-х приемных антенн, а также проведено сравнение алгоритма оценки канала с идеальным случаем, когда предполагается, что параметры канала известны в приемнике. Кроме того, исследовано влияние группового декодирования путем анализа времени декодирования одного блока STBC-OFDM и времени, сэкономленного на декодировании всей группы блоков данных. Из результатов моделирования видно, что предложенная методика обладает преимуществами повышения вычислительной эффективности системы за счет сокращения времени вычислений при одновременном увеличении числа пилотных поднесущих. Использование метода группового декодирования позволяет системе быть более устойчивой к распространению ошибок. Действительно, в традиционных схемах, использующих итерационный метод, где оценка канала выполняется в начале передачи, распространение ошибки имеет решающее значение, так как ошибка в оценке параметра канала приведет к неточному декодированию данных. В рамках проведенного исследования были предложены новая совместная оценка канала и восстановление поврежденных данных. Метод отличается энергоэффективностью и простотой вычислений за счет того, что он не требует инверсии матрицы на приемнике в отличие от других методов, рассматриваемых в литературе

**Ключевые слова:** коды с пониженной сложностью декодирования, методика оценки каналов для систем STBC-OFDM, методика оценки канала с использованием метода группового декодирования для STBC-OFDM, метод повышения вычислительной эффективности системы передачи данных за счет сокращения времени вычислений при одновременном увеличении числа пилотных поднесущих

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА НА ЭФФЕКТИВНУЮ ПЛОЩАДЬ РАССЕЯНИЯ

**С.А. Антипов, А.В. Володько, Е.А. Ищенко, В.Н. Кострова, К.А. Разинкин, М.А. Сиваш**

**Аннотация:** в качестве объекта исследования эффективной поверхности рассеяния рассматривается сфера из диэлектрического материала, у которого можно в процессе моделирования изменять диэлектрическую проницаемость среды. Для моделирования был выбран широкий диапазон частот, чтобы можно было отследить влияние отношения длины волны к радиусу сферы, а также смещение максимального значения эффективной площади рассеяния (ЭПР) объекта после изменения диэлектрической проницаемости среды. По полученным результатам было доказано, что невозможно обеспечить низкий уровень ЭПР в очень широкой полосе частот, так как если размер длины волны становится близок к размерам тела, происходит резкий всплеск уровня ЭПР. Также в процессе моделирования было доказано, что повышение диэлектрической проницаемости среды приводит к повышению максимальных значений ЭПР объекта, а также смещение этого пика вниз по частоте. По полученным графикам моностатической ЭПР можно сделать вывод, что применение сложных частотозависимых материалов позволяет добиться значительного снижения эффективной площади рассеяния даже в ситуации, когда объект становится геометрически крупным, то есть сравнимым с длиной волны. Данные сложные материалы применяются в качестве стелс-покрытия

**Ключевые слова:** эффективная площадь рассеяния шара, моностатическая ЭПР

## **ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДИПОЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ КОНСТРУКЦИЙ РЭС**

**Т.С. Глотова, А.С. Иваницкий, В.В. Глотов**

**Аннотация:** электромагнитная совместимость интегральных микросхем становится все более важным аспектом в разработке высокоскоростных печатных плат. Международные стандарты были установлены для количественной и качественной оценки характеристик интегральных микросхем, а также помехоустойчивости с использованием различных методов измерения. Для решения задач, связанных с прогнозированием электромагнитных помех между интегральными микросхемами и печатными платами, необходимы модели интегральных микросхем как на внутриаппаратурном уровне, так и внутрисистемном. Такие модели могут быть получены из моделирования при наличии достаточной информации об интегральной микросхеме. Однако в большинстве практических случаев подробная информация об интегральных микросхемах может быть недоступна разработчикам радиоэлектронного оборудования. Предлагается улучшенная модель дипольного момента для анализа характеристик связи ближнего и дальнего электромагнитного поля от интегральной микросхемы, полученная на основе сканирования ближнего поля. Представлен массив электрических и магнитных дипольных моментов, используемых для воспроизведения распределений поля в плоскости сканирования над интегральной микросхемой. Полученные дипольные моменты могут использоваться в качестве источников излучений для интегральной микросхемы. Усовершенствованная модель дипольного момента особенно полезна для решения проблем радиочастотных помех, когда необходимо точно проанализировать шумовую связь в ближнем поле

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, ближнее поле, дипольный момент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО В КОНСТРУКЦИЮ ПИРАМИДАЛЬНОГО РУПORA МЕТАМАТЕРИАЛА НА ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ**

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

**Аннотация:** рассматривается метаматериал, который интегрирован в конструкцию пирамидальной рупорной антенны. Коммутация узлов метаматериала позволяет осуществлять управление диаграммой направленности рассматриваемой антенны. Для замыкания узлов в решетке метаматериала применяются рип-диоды, которые имеют в открытом состоянии эквивалентную схему, представляющую собой последовательное соединение сопротивления  $2,1 \text{ Ом}$  и индуктивности  $0,6 \text{ нГн}$ . Предложенная конструкция позволяет добиться управления характеристиками диаграммы направленности рассматриваемой антенны в широких пределах. Управление характеристиками антенн путем применения метаматериалов различных конструкций является передовым методом управления характеристиками излучателя. Для получения результатов применялось электродинамическое моделирование в специализированном программном обеспечении, на основе полученных результатов были построены диаграммы направленности в диапазоне работы рупорной антенны. Приведены результаты моделирования в виде трехмерных моделей исследуемых конструкций метаматериала, коммутируемых узлов; диаграммы направленности полученных антенн, на которых были определены изменения, вносимые коммутируемыми линиями метаматериала. Наибольшее изменение картин диаграмм направленности наблюдалось на частотах  $13$  и  $14 \text{ ГГц}$ , входящих в целевой диапазон работ рупорной антенны, основные исследования производились в  $H$ -плоскости рупора, так как коммутации подвергались вертикальные линии метаматериала

**Ключевые слова:** пирамидальная рупорная антенна, управляемый метаматериал, диаграмма направленности

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых № МК-57.2020.9



# УПРАВЛЯЕМЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ НА ФИЛЬТРАХ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ И СИНТЕЗИРОВАННОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ

**М.И. Бочаров, А.В. Володько**

**Аннотация:** проведены исследования качественных характеристик однокаскадных частотно-модулированных (ЧМ) генераторов, выполненных на однокаскадном усилителе по схеме с общим коллектором и узкополосным фильтром на поверхностных акустических волнах (ПАВ) при использовании в качестве управителя частоты синтезированной нелинейной индуктивности (СНИ). Получены расчетные соотношения для определения девиации основной частоты, уровня нелинейных искажений для третьей и пятой гармоник и крутизны модуляционной характеристики, которая практически постоянна как при перестройке генератора по частоте, так и изменении уровня модулирующего сигнала. В результате этого в процессе модуляции уровень паразитной амплитудной модуляции не повышается, что обеспечивает высокую частоту спектра формируемого ЧМ радиосигнала. Проведен анализ полученных технических характеристик, который показал, что исследуемый формирователь ЧМ сигнала при управлении напряжением СНИ практически не создает сдвига центральной частоты, который приводит в процессе модуляции к уменьшению стабильности частоты. Установлено, что при девиации основной частоты около 90 кГц коэффициент нелинейных искажений по третьей и пятой гармоникам составляет менее 1 % и 0.1 % соответственно. Это соизмеримо с уровнем нелинейных искажений ЧМ генератора, в котором в качестве управителя частоты используются варакторы с резким законом изменения вольтфарадной характеристики, обеспечивающей минимально возможные нелинейные искажения при модуляции генераторов с помощью варакторов и практически полным отсутствием этих искажений на четных гармониках

**Ключевые слова:** ПАВ фильтр, синтезированная нелинейная индуктивность, девиация частоты, нечетные гармоники, нелинейные искажения, крутизна модуляционной характеристики

## *Машиностроение и машиноведение*

### ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА АВТОМОБИЛИ

**В.Ю. Анцев, Н.А. Витчук, П.В. Витчук, Е.А. Петренко**

**Аннотация:** одним из важнейших контролируемых параметров при оценке качества лакокрасочного покрытия автомобиля является количество зерен на покрытии кузова. Для снижения количества зерен необходимо осуществлять анализ их вида и происхождения. Такой анализ проводят на трёх слоях: на катафорезном слое, грунтовом и на готовом лакокрасочном покрытии. Приведены результаты анализа количества и вида зерен на всех трёх слоях лакокрасочного покрытия автомобилей на одном из предприятий автомобильного кластера г. Калуги. По результатам анализа был сделан вывод о целесообразности уменьшения сорности на слое катафореза. Это позволит повлиять на качество двух других слоев лакокрасочного покрытия. Уменьшение сорности на слое катафореза возможно на основе модернизации линии подготовки поверхности автомобиля к покраске. Для модернизации линии подготовки поверхности автомобиля к покраске предлагается изменить существующую систему фильтрации рабочего раствора, заменив существующий ленточный фильтр на систему с мешочными фильтрами. Также предлагается оборудовать линию промежуточной емкостью с системой фильтрации для восстановления рабочего раствора. Внедрение предложенных мероприятий позволит снизить расходы на шлифовальные материалы, увеличить производительность на участках инспекции лакокрасочного покрытия автомобиля, снизить расходы на восстановление рабочего раствора

**Ключевые слова:** лакокрасочное покрытие, сорность, слой катафореза, линия подготовки поверхности к покраске, система фильтрации