

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ В СРЕДЕ MATLAB**

**А.П. Харченко, Ю.С. Слепокуров, П.А. Аверьянов**

Для приводов манипулятора промышленного робота актуально повышение быстродействия в 2-3 раза при сохранении плавности перемещения захватного устройства (ЗУ). Плавность перемещения ЗУ обеспечивается получением аperiodической 2-го порядка переходной характеристики. Приводы звеньев манипулятора робота строятся однотипно как многоконтурные автоматические системы с подчиненным регулированием. Существует несколько способов обеспечения заданных динамических показателей качества регулирования. Наиболее часто используются корректирующие устройства (КУ), ПИ-регуляторы и в последнее время перспективно применение модального регулятора (МР). Не исследованы возможности современных методов проектирования автоматических систем с обратной связью при их практической реализации. Сравнительный анализ способов повышения быстродействия при вариации их параметров выявил допустимые границы изменения времени регулирования и перерегулирования переходной характеристики при условии сохранения ее вида. Использование ПИ-регуляторов для получения заданных параметров качества регулирования ограничивается взаимной зависимостью времени регулирования и перерегулирования. Произвольное изменение коэффициентов МР выявило нелинейную функциональную зависимость времени регулирования и перерегулирования от их значения. При сравнении чувствительности параметров качества регулирования по переходной характеристике к 50% изменению постоянных времени КУ и 50% изменению коэффициентов МР время регулирования и перерегулирования последнего не изменяется. Изменение на 50% постоянных времени  $T$  в передаточной функции КУ влияет на перерегулирование, и переходной процесс превращается в колебательный. При этом быстродействие САУ при перерегулировании не более (0.04-0.05) % с МР повышается в 3 раза, а быстродействие САУ с КУ - в 1,8 раз.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что применение МР обеспечивает наибольшее быстродействие следящей системы и заданных показателей качества управления. Использование МР, в отличие от классических регуляторов, не вносит дополнительную инерционность в следящую систему. Вместе с этим в литературных источниках, где описывается МР, отмечаются некоторые недостатки применения МР, которые ограничивают его практическое применение. Поиск путей устранения этих недостатков является целью представленных и последующих исследований следящей системы с МР

Ключевые слова: электромеханическая следящая система, структурная схема, модальный регулятор, переходная характеристика

УДК 004.942

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА ФОРРЕСТЕРА**

**А.Ф. Резчиков, В.А. Кушников, В.А. Иващенко, А.С. Богомолов, Л.Ю. Филимонок,  
М.В. Хамутова**

На основе формального аппарата системной динамики, учитывающего причинно-следственные связи между моделируемыми переменными, разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать характеристики наводнений. Построен граф причинно-следственных связей, существующих между моделируемыми характеристиками. Математическая модель для прогнозирования характеристик наводнений описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Построены функциональные зависимости правых частей системы уравнений, определенные исходя из анализа опыта специалистов, а также представленные в виде произведения полиномов. Численное решение системы уравнений получено с помощью метода Рунге-Кутты. Проведены вычислительные эксперименты, позволяющие на различных временных интервалах и с учетом изменяющихся параметров внешней среды определить моделируемые характеристики. Сравнение прогнозируемых характеристик, рассчитанных по модели, с различными представлениями правой части системы дифференциальных уравнений с их реальными значениями наводнения, произошедшего в Приморье в августе 2001 года, подтверждает адекватность математической модели. Результаты, полученные по модели, могут быть использованы при разработке информационных систем прогнозирования последствий наводнения для оперативно-диспетчерского персонала МЧС, применение которой позволит повысить эффективность ликвидации последствий наводнений

Ключевые слова: математическая модель, системная динамика, прогнозирование последствий наводнений

УДК 681.3

## **АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВОЙ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

С.А. Ткалич, О.Ю. Таратынов

Постановкой задачи в статье является сравнение результатов прогноза нейросетевой и термодинамической моделей в рамках общей концепции безаварийного управления потенциально опасными технологическими процессами. Для создания нейросетевой модели используется нечеткая логика, которая приближает искусственные процедуры прогнозирования к реакциям живого организма. Обучение происходит методом обратного распространения ошибок с помощью алгоритма LM. Обучающая выборка формируется случайным образом. Входными переменными в термодинамической модели являются данные наблюдений за процессом, представляемые как броуновские функции. Для оценки работы термодинамической модели используется показатель Херста. Приведены результаты сравнительного анализа нейросетевой и термодинамической моделей прогнозирования аварийных ситуаций. При этом на одном графике сравнивается функция степени близости к аварийной ситуации нейросетевой модели и функция состояния процесса термодинамической модели. При количественной оценке прогнозирующих свойств моделей сравнивается время, когда функция степени близости к аварийной ситуации приближается к значению равному единице, и момент времени, когда показатель Херста достигает уровня 0,5. Относительная погрешность прогнозируемого времени наступления аварийной ситуации моделей составляет 0,645 %. Сделан вывод о возможности использования нейросетевой и термодинамической моделей совместно в составе композиционной модели прогнозирования аварийных ситуаций

**Ключевые слова:** нейронная сеть, термодинамическая модель, прогнозирование, аварийные ситуации

УДК 004.942

## **ЗАДАЧА ВЫБОРА СЕРВЕРНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВИРТУАЛЬНЫХ РАБОЧИХ СТОЛОВ**

Д.К. Проскурин, К.А. Маковий

Виртуализация как технологическая основа облачных технологий предоставляет значительные экономические и социальные преимущества для образовательных учреждений. Консолидация серверных ресурсов при использовании серверной виртуализации и централизованное управление рабочими местами пользователей при использовании виртуализации рабочих мест способствует переходу на новый уровень предоставления ИТ-услуг. Серверная виртуализация и виртуализация рабочих столов ставит задачу оптимизации использования ресурсов.

В статье рассматривается задача выбора аппаратного обеспечения для развертывания инфраструктуры рабочих столов. Показана возможность применения методов целочисленного программирования к проблеме размещения виртуальных машин на разнородных аппаратных серверных платформах. Предложена математическая модель выбора серверных платформ и объема памяти для размещения заданного количества виртуальных машин с заданными требованиями к оперативной памяти.

Представлены результаты решения задачи для предложенного набора моделей серверных платформ и различного числа размещаемых виртуальных машин

Ключевые слова: инфраструктура виртуальных рабочих столов, целочисленное математическое программирование, линейное программирование, стоимость оборудования

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ И ОБРАБОТКЕ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОГО ФОНЕТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ**

**Л.В. Савченко**

В статье рассматривается применение методологии системного анализа к задаче распознавания речи в автономных технических и информационных системах с голосовым интерфейсом. На основе теоретико-информационного подхода разработан новый вычислительно эффективный алгоритм принятия решений и обработки речевой информации с нечетким фонетическим кодированием, в котором, в отличие от традиционных подходов с построением отдельных акустических моделей для каждого вида минимальных речевых единиц типа отдельных фонем, предлагается рассматривать взаимосвязи между различными фонемами. Представленный алгоритм реализован в информационной системе интеллектуальной поддержки принятия решений для обработки речевой информации, приведена ее функциональная схема. Для повышения эффективности и надежности голосового интерфейса на предварительном этапе предложено выполнить обучение оператора стабильному произношению каждой фонемы. Представлены результаты экспериментального исследования точности и быстродействия разработанного алгоритма в задаче распознавания изолированных слов русского языка в сравнении с методами на основе скрытых марковских моделей и глубоких нейронных сетей. Показано, что предложенный подход существенно превосходит традиционные методы распознавания речи не только по точности, но и по времени распознавания и затратам памяти для хранения акустической модели

Ключевые слова: системный анализ, обработка речевой информации, нечеткое фонетическое кодирование, теоретико-информационный подход

УДК 004.75

## **МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБСЛУЖИВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ**

**С.А. Олейникова**

Объектом исследования в данной работе являются сложные многостадийные системы с несколькими центрами обслуживания и взаимной зависимостью между работами, длительность выполнения которых является случайной величиной. Целью является оптимизация функционирования таких систем путем формирования план-графика их функционирования. В качестве критерия оптимальности выбран критерий, позволяющий рационализировать использование ресурсов во времени. В работе была сформулирована оптимизационная задача, учитывающая наличие нескольких обслуживающих центров, взаимную зависимость между работами, их случайное время выполнения, а также временные и ресурсные ограничения. Анализ возможных подходов к ее решению показал целесообразность использования мультиагентных технологий. С учетом особенностей задачи была предложена структура мультиагентной системы, включающая агента предварительного планирования, осуществляющего подготовительную стадию формирования расписания, интеллектуальных агентов, выполняющих составление план-графика для закрепленного за ними центра обслуживания, и агента координации. В работе приведены основные функции для агентов всех категорий. Особое внимание уделено специфике их взаимодействия.

Таким образом, получен подход к оптимизации функционирования многостадийных обслуживающих комплексов путем составления расписания их работы, основанный на использовании взаимодействующих интеллектуальных агентов и позволяющий получить субоптимальное решение за приемлемое время

Ключевые слова: мультиагентная система, оптимизационная задача, составление расписания

## *Энергетика*

УДК 675.03.031.81: 577.15

## **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ОЦЕНКА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ**

**А.В. Жучков, А.М. Чуйков, А.В. Мещеряков,  
В.И. Лукьяненко, С.Ю. Зайчиков, И.Е. Шабанов**

Рассмотрены теплоэнергетические аспекты принципиальной технологической схемы производства нефтеполимерной смолы. Отмечается необходимость снижения парциального давления паров нефтеполимерной смолы для повышения качества получаемой продукции. Обсуждаются возможные пути решения этой проблемы: вакуумирование технологических аппаратов, разбавление газовой фазы перегретым водяным паром. Предлагаются различные варианты аппаратурного оформления участка отгонки непрореагировавших компонент в процессе производства нефтеполимерной смолы.

Изложена методика экспериментального определения давления насыщения паров нефтеполимерной смолы в зависимости от температуры. Приведены результаты экспериментального исследования равновесного давления от температуры для нефтеполимерной смолы. Получена аналитическая зависимость равновесного давления от температуры.

Выполнена оценка пожарных рисков производства. Определены объемные концентрации паров нефтеполимерной смолы пиропласт 2К, соответствующие верхнему и нижнему концентрационным пределам воспламенения. Предложена функциональная зависимость равновесного давления пара от температуры среды. Определен интервал парциальных давлений и температур, в котором возможно воспламенение технологической жидкости. Установлено, что наибольший риск возгорания технологического сырья присутствует на стадии его нагревания до рабочей температуры. В основном режиме отгонки летучих компонентов концентрация паров превышает верхний концентрационный предел воспламенения, что делает маловероятным ее возгорание

Ключевые слова: пожарная безопасность, концентрационные пределы воспламенения, отгонка, давление насыщенных паров, нефтеполимерные смолы

УДК 658.567

## **К ВОПРОСУ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНДЕНСАЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ**

**П.А. Солженикин, В.Г. Стогней, В.В. Черниченко**

В статье проводится сравнительный анализ работы общеизвестных газоочистных установок и обосновывается целесообразность применения универсального разнотемпературного фильтра, обладающего способностью очищать высокотемпературные потоки больших расходов. Приводится описание установки для очистки воздуха от аэрозольных частиц на основе конденсационного фильтра и экспериментальных исследований по изучению тепломассообменных закономерностей для использования их при разработках промышленных разнотемпературных конденсационных фильтров для очистки газообразных выбросов. Искомые зависимости определялись на основе изменения разности температур между рабочими стенками газового тракта фильтра, меняющегося расхода загрязненного газового потока через установку и давления в рабочем канале. Высокая эффективность фильтра обусловлена разнотемпературной организацией температурного поля в нем. Исследуемый фильтр обладает высокой степенью очистки, малым гидравлическим сопротивлением и малой энергоемкостью. Применение предлагаемого конденсационного метода очистки даст значительный экономический эффект при использовании на предприятиях металлургической промышленности, при улавливании ценных продуктов, находящихся в тонкораспыленном состоянии, при работе на предприятиях нефтяной и газовой промышленности для удаления твердых частиц, конденсата тяжелых углеводородов и водяных паров. На данный способ очистки и на конструкцию установки получены 10 патентов на изобретение

Ключевые слова: фильтр, пересыщение, конденсация, газовый поток

УДК 620.179.13

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ МИКРОРАССЛОЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОБТЕКАТЕЛЯХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ОДНОСТОРОННИМ ТЕПЛОВЫМ СКАНИРОВАНИЕМ**

**А.В. Ряжских, Н.П. Заец, И.А. Чижов, О.А. Семенихин**

На основе нестационарного уравнения теплопроводности в формате 2-D предложена модель для определения наличия каверн расслоения в обтекателях летательных аппаратов в предположении отсутствия градиента температуры в несвязанной области за исключением зоны конвективного подвода теплоты и незначительного по величине коэффициента теплопроводности среды каверны, с использованием которой обоснована эффективность одностороннего теплового сканирования на примере носового обтекателя МИГ-29. Получена детальная картина температурного поля при небольшой длительности нагрева с помощью численного интегрирования уравнений модели со смешанными граничными условиями 2-го рода на ненагреваемых поверхностях области сканирования и 3-го рода на нагреваемой конвективным способом поверхности методом конечных элементов с использованием адаптивной сетки на платформе пакета FlexPDE6. Подтверждено наличие приемлемого температурного контраста на поверхности обтекателя для регистрации даже малочувствительными тепловизорами. Преимуществом синтезированной математической модели является однопараметричность от числа Био, что позволяет инвариантно применять такой подход для различных характеристик как геометрических, так и теплофизических для анализа и идентификации локальных микрорасслоений в многослойных полимерных обтекателях летательных аппаратов различного назначения. С помощью вычислительных экспериментов подтверждена гипотеза недиффундируемой зоны нагрева над предполагаемым местом расслоения многослойных полимерных конструкций. Показана возможность редукции модели в формат 1-D путем введения “эффективного” числа Био, означающего более интенсивный нагрев в зоне над каверной отслаивания

Ключевые слова: тепловое сканирование, многослойный полимерный слой, расслоение, каверна, теплопроводность

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АБСОЛЮТНОГО МАКСИМУМА ГАУССОВСКОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА**

**В.П. Литвиненко, О.В. Чернояров, Л.А. Голпайегани**

В работе описаны методики получения общих выражений для функций распределения абсолютного максимума нестационарного гауссовского процесса. Рассматриваются дифференцируемые и недифференцируемые случайные процессы. Показано, что вид закона распределения зависит от аналитических свойств процесса, а именно, от существования его непрерывной производной. На основе полученных результатов записаны формулы для вероятностей превышения порога стационарными дифференцируемыми и недифференцируемыми гауссовскими случайными процессами. В результате решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова получены статистические характеристики гауссовского марковского или локально марковского случайного процесса. Установлено, что в ряде частных случаев предложенные асимптотические аппроксимации удовлетворительно описывают истинные распределения в широком диапазоне значений параметров случайного процесса. Полученные результаты подтверждаются методами статистического моделирования, с их помощью установлены границы применимости полученных оценок статистических характеристик. Предложенные подходы при соответствующем обобщении могут быть использованы для определения предельных характеристик негауссовских случайных процессов

Ключевые слова: гауссовский случайный процесс, функция распределения абсолютного максимума, вероятность пересечения барьера, выбросы случайного процесса, уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова

## **АЛГОРИТМЫ ВЫБОРА ПЕРИМЕТРОВЫХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ**

**А.Б. Антиликаторов, С.Ю. Белецкая, А.С. Кулишенков**

Актуальность системного решения проблем и задач охранной деятельности особенно возросла в последние годы, что диктуется многими факторами. Практика охранной деятельности показывает, что необходим научно обоснованный подход к решению проблем и задач охраны объектов. Отдельные системы охраны периметра не могут полностью решить задачу обнаружения нарушителя. Чтобы перекрыть все вероятные пути движения нарушителя, на практике применяют несколько систем. Однако различные системы обладают разными значениями вероятности обнаружения и вероятности ложной тревоги, и это необходимо учитывать.

В данной работе рассматривается алгоритм обработки сигналов от отдельных систем охраны периметра. Данный алгоритм имеет более простой вид и удобнее для практической реализации, чем алгоритм упорядочивания комбинаций по величине отношений  $\Delta P_j / \Delta \bar{P}_j$ . Причем, он всегда оптимален, т.е. при заданной вероятности обнаружения обеспечивает минимально возможную вероятность ложной тревоги. Одновременно обеспечивается максимально возможная вероятность обнаружения при заданной вероятности ложных тревог

Ключевые слова: системы охраны периметра, комбинированные средства обнаружения, обработка сигналов

## **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ БИОПОТЕНЦИАЛОВ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ СЛЕДЯЩЕЙ СВЯЗИ ПО ПИТАНИЮ**

**Д.В. Журавлёв, Ю.С. Балашов**

Активное подавление помех, возникающих при регистрации биопотенциалов, возможно схемотехническими методами построения аналоговых входных узлов, а также путем специальной обработки уже оцифрованного сигнала внутри микропроцессора. В данной статье уделено внимание только схемотехническим методам борьбы с помехами.

Описаны принципы работы основного “ядра” усилителя биопотенциалов – дифференциального каскада. Изучение основных физических принципов работы усилительного элемента дифференциального каскада позволило выявить пути увеличения коэффициента подавления синфазных сигналов всей схемой усиления.

Исследованы варианты построения усилителя биопотенциалов с организацией двухполюсной следящей связи по питанию. Описаны преимущества и недостатки такой схемы.

Проведена разработка метода организации однополюсной следящей связи по питанию усилителя биопотенциалов, позволяющего устранить недостатки двухполюсной схемы. Анализ принципов работы дифференциального каскада позволил выявить зависимость изменения разбалансировки питающего напряжения (и, соответственно, сдвига напряжения смещения) на величину подавления синфазного сигнала. Доказано, что при появлении на входе усилителя биопотенциалов синфазного сигнала в дифференциальном каскаде его операционного усилителя будет происходить сдвиг напряжения смещения. Это явление удалось скомпенсировать с помощью дополнительно введенной обратной связи по питанию усилителя. Благодаря тому, что потенциал реального источника

питания можно модулировать выходным током операционного усилителя, и наличие в нем внутреннего сопротивления была разработана методика построения усилителя биопотенциалов, позволяющая увеличить коэффициент подавления синфазных сигналов за счёт организации однополюсной следящей связи по питанию.

Проведено имитационное моделирование семи различных схем построения усилителей. По результатам моделирования установлено, что схема, построенная с применением разработанной методики, обладает наибольшим коэффициентом ослабления синфазных сигналов. Результаты имитационного моделирования проверены экспериментально

Ключевые слова: синфазная помеха, обратная связь, дифференциальный каскад, усилитель биопотенциалов, коэффициент подавления

УДК 621.395.623.8

## **МАЛОГАБАРИТНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОГО ЛАБИРИНТА**

**А.С. Бадаев**

Предложена оригинальная методика расчета акустической трансмиссионной линии (акустического лабиринта), основанная на методе электромеханических аналогий и представлении трансмиссионной линии в виде её электрического аналога – длинной линии с произвольной нагрузкой. Показано, что оптимальная длина трансмиссионной линии равна четверти длины волны, излучаемой динамической головкой на частоте своего резонанса в воздухе, а площадь поперечного сечения – эффективной площади диффузора головки. При этом входное сопротивление трансмиссионной линии максимально и имеет чисто активный характер, подобно параллельному колебательному контуру, настроенному в резонанс. На этой частоте выходное отверстие акустического лабиринта интенсивно излучает энергию в окружающее пространство, в то же время амплитуда колебаний диффузора динамической головки при этом минимальна, вследствие чего значительно снижаются искажения в низкочастотной области. Нежелательные резонансы на частотах выше основного резонанса подавляются с помощью звукопоглощающего материала на внутренних стенах лабиринта. Представлена конструкция двухполосных малогабаритных акустических систем типа «акустический лабиринт» с повышенным уровнем характеристической чувствительности, рассчитанная по предложенной методике. Приведены их основные параметры и характеристики. В конструкции использованы разделительные фильтры первого порядка в низко-, среднечастотной областях и третьего порядка в области высоких частот, частота раздела составляет 2,4 кГц. Анализ результатов измерений показывает высокую стабильность частотной зависимости модуля полного сопротивления во всем диапазоне воспроизводимых частот, что значительно упрощает подбор усилителя низкой частоты. АЧХ разработанных акустических систем обладает неплохой равномерностью, отмечено незначительное увеличение неравномерности ( $\pm 4$  дБ) на частотах выше 1,5 кГц. Дальнейшая работа по подбору высокочастотного излучателя, выбора частоты раздела и порядков разделительных фильтров позволит улучшить АЧХ в этой частотной области

Ключевые слова: акустические системы, трансмиссионные линии, акустический лабиринт

УДК 621.396.67

## **РАЗРАБОТКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССИВНОЙ ПРИЕМНОЙ АНТЕННЫ**

**А.Б. Антикаторов, С.А. Антипов, Р.А. Дуров**

Пеленгаторные устройства имеют ряд требований, таких как дальность действия, помехоустойчивость, надежность, экономичность, но самыми важными и проблемными требованиями являются высокая точность приема сигнала и чувствительность. Точность и чувствительность пеленгования в большей степени определяют технические возможности пеленгаторной аппаратуры. Эти два параметра взаимосвязаны, чем выше чувствительность пеленгатора, тем выше точность пеленга.

Для повышения точности пеленгования предлагается использовать в комплексе пассивную приемную антенну, обладающую высокими параметрами по чувствительности, линейности и динамическому диапазону. Кроме того, применение такой антенны обеспечивает направленный радиоприем от источника радионизлучения.

В статье представлена разработка приемной антенны, входящей в состав пеленгаторной системы. Проведено моделирование исследуемой антенны. В ходе расчетов осуществлялось изменение рабочих частот и рассматривались показатели эффективности самой антенны, такие как активная и реактивная составляющие входного сопротивления антенны

Ключевые слова: пеленгаторная система, конструкция антенны, фидер, импеданс антенны

УДК 681.2.084

## **МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДАННЫХ СКАНИРОВАНИЯ БЛИЖНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

**М.А. Ромащенко, А.А. Пряхин**

Предложена методика анализа данных сканирования ближнего электромагнитного поля, используемая для

обработки данных с аппаратно-программного комплекса сканирования ближнего электромагнитного поля и позволяющая обеспечить графическую интерпретацию электрической и магнитной составляющих ближнего электромагнитного поля, что облегчает поиск локальных областей, в которых возможны потенциальные проблемы в части обеспечения внутриаппаратурной электромагнитной совместимости. В ходе работы выполнено создание и моделирование объекта исследования в специализируемом ПО, в качестве которого была использована модифицированная конструкция дипольной антенны на печатной плате. С использованием аппаратно-программного комплекса сканирования ближнего электромагнитного поля, анализатора спектра и разработанной ранее программы, предназначенной для работы в составе программно-аппаратного комплекса управления и сбора данных, была получена информация для обработки. Сведения о напряженности электромагнитного поля в ближней зоне излучения тестируемого устройства обработаны с помощью предложенной методики и построены градиентные карты распределения электрической и магнитной составляющих ближнего электромагнитного поля. Проведено сравнение результатов компьютерного моделирования распределения ближнего электромагнитного поля и данных натурного эксперимента, подтверждающее адекватность предложенной методики

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, ближнее электромагнитное поле, сканер ближнего электромагнитного поля

УДК 621.3

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА ЦАП НА ИСТОЧНИКАХ ТОКА**

**А.В. Строгонов, С.В. Жигульский, В.С. Пожидаев**

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) – это устройство для преобразования цифрового кода в аналоговый сигнал. В настоящее время для приборов проводных и беспроводных широкополосных систем связи, радарных и спутниковых подсистем требуются быстродействующие и достаточно точные цифро-аналоговые преобразователи с малой нелинейностью. Для получения необходимых характеристик ЦАП проводят производственную калибровку, но калибровка весов многоразрядных ЦАП на производстве не решает проблему его нелинейности, так как при дальнейшей эксплуатации происходит ухудшение его точностных характеристик. Как следствие, автоматическая калибровка стала неотъемлемой частью ЦАП, к которому предъявляются повышенные требования по быстродействию и разрешающей способности. Недостатки производственной калибровки не позволяют в современных условиях развития КМОП технологии получить ЦАП с высокой частотой преобразования и разрядностью больше 16 бит. В статье приведен способ автоматической калибровки линейности ЦАП, учитывающий недостатки существующих методов. Рассматриваемый метод основан на использовании подканальной области  $p$ -канального транзистора, выступающего в роли источника тока, в качестве второго затвора. Предложенное решение улучшает линейность ЦАП путем повышения точности источников тока при последовательном сравнении его весов

Ключевые слова: КМОП, ЦАП на источниках тока, самокалибровка, линейность

УДК 621.3.038

## **Автоматизация проектирования SPICE-моделей резисторных блоков Б19К с позиции температурной стабильности**

**Д.В. Озеркин, С.А. Русановский, В.О. Бондаренко**

Развитие и совершенствование методов разработки и моделирования бортовой космической радиоаппаратуры требует от существующей номенклатуры электрорадиоизделий представления их в качестве электронных моделей или SPICE-моделей. В номенклатуре электрорадиоизделий, разрешенных к применению в бортовой космической радиоаппаратуре, достаточно распространены резисторные блоки с планарными выводами семейства Б19К. В статье рассмотрены вопросы автоматизации процесса по формированию SPICE-моделей резисторных блоков Б19К. Показано, что семейство резисторных блоков Б19К отличается не только разнообразием электрических схем, но и индивидуальным характером температурных зависимостей сопротивлений резистивных элементов. Приводятся объяснения со ссылками на предшествующие исследования, поясняющие причины негативного влияния на стабильность параметров резисторных блоков. Эти причины приводят к множеству конкретных реализаций SPICE-моделей. Авторами предложена методология создания SPICE-моделей резисторных блоков, основанная на группировке температурных зависимостей по критерию сходственности и подобия. Для генерации SPICE-моделей резисторных блоков авторами разработана программа «Б19К», реализованная на скриптовом языке высокого уровня TCL/Tk. Механизм TCL/Tk Scripting дает неограниченные возможности для взаимодействия как с пользовательским интерфейсом схемного редактора OrCAD Capture, так и с базой данных проектов в OrCAD. Проведен тестовый сравнительный анализ «прототип-модель» на примере одного из образцов резисторного блока Б19К

Ключевые слова: температурная стабильность, температурный коэффициент сопротивления, резисторный блок, SPICE модель, OrCAD

### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ**

**А.И. Болдырев, А.А. Болдырев, В.В. Григораш**

Эффективность электрохимического формообразования определяется его выходными технологическими показателями – производительностью, точностью обработки, качеством обработанной поверхности. При этом обрабатываемость металла электрохимическим методом рассматривается как функция свойств металла заготовки, электролита, режимных параметров процесса анодного растворения. В статье рассмотрено влияние режимных параметров анодного растворения на основные показатели процесса.

Производительность процесса или скорость анодного растворения металла, в конечном счете, определяется значениями анодной плотности тока и анодного выхода по току. Показаны пути повышения интенсификации производительности процесса: вибрация электродов, наложение на электроды ультразвукового поля, применение абразивонесущего электролита, комбинирование различных методов обработки, правильный выбор состава электролита и основных технологических параметров процесса.

Точность электрохимического формообразования определяется локализирующей способностью системы металл-электролит, которая зависит от состава электролита, величины межэлектродного зазора, конструкции электрода-инструмента, режима электролиза. Локализирующая способность системы может быть повышена путем использования в качестве рабочей среды газожидкостной смеси или кислородосодержащих электролитов, изоляции нерабочих участков поверхности электрода-инструмента, поддержания малых межэлектродных зазоров и использования импульсного тока.

Шероховатость поверхности уменьшается с уменьшением величины межэлектродного зазора, увеличением скорости подачи электрода-инструмента, с усилением пассивирующего действия электролита, повышением степени локализации процесса анодного растворения металла. При обработке импульсным током шероховатость поверхности снижается с увеличением амплитудной плотности тока. При выполнении большинства операций электрохимического формообразования шероховатость поверхности находится в пределах  $R_a = 2,5-0,32$  мкм

Ключевые слова: электрохимическая обработка, режимы, технологические показатели

УДК 658.56

### **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ ЛОГИСТИКИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**О.Г. Туровец, И.В. Каблашова, В.Н. Родионова**

В статье рассматривается методологический подход к формированию механизма управления качеством процессов логистики с учетом рекомендаций международной системы стандартов по менеджменту качества. Отражены результаты исследования содержания деятельности по управлению качеством процессов логистики, приведена классификация функциональных процессов логистики и построена процессно-ориентированная схема реализации документированных процедур по управлению качеством процессов логистики. С учетом содержания логистической деятельности предприятия разработана функциональная структура механизма управления качеством процессов логистики, раскрыто содержание принципиальных положений и этапов работ, необходимых для разработки и обеспечения функционирования механизма. Сформирована матрица идентификации ответственности за обеспечение качества процессов логистики. С учетом принципа процессного подхода построена процессно-ориентированная структура механизма управления качеством процессов логистики. Обоснована целесообразность интеграции функциональных процессов, реализуемых в рамках системы организации производства и механизма управления качеством процессов логистики. Для обеспечения функционирования механизма предложена схема проведения мониторинга процессов логистики с целью своевременного выявления и устранения причин отклонений в процессах. Описано содержание документированных процедур, применяемых при проведении мониторинга процессов логистики, в контексте содержания логистической деятельности. Обоснована необходимость организации межфункциональной команды по управлению качеством процессов логистики, которая включает представителей каждого подразделения логистической службы предприятия. Обосновано, что жесткая идентификация ответственности между работниками в составе межфункциональной команды за обеспечение качества процессов логистики позволит обеспечивать качество перемещаемых ресурсов по этапам производства и качество конечного результата деятельности предприятия

Ключевые слова: управление, качество, мониторинг, процессно-ориентированная структура



## УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ СВАРНЫХ ТИТАНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ОКИСЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**А.Б. Коломенский, С.В. Шахов, Б.А. Коломенский**

В данной работе оценено воздействие оксидных плёнок, формирующихся в процессе отжига в интервале температур 350-650 °С, на ударную вязкость сварных соединений листовых титановых сплавов. Исходные листовые заготовки имели регламентированные газонасыщенные подслои различной микротвёрдости. Стыковые сварные швы на листовых заготовках с целью исключения фактора перепада кромок имитировали сквозным проплавлением заготовок на автомате неплавящимся электродом без присадки с местной защитой аргоном. После сварки из заготовок вырезали образцы для испытаний на ударную вязкость (КСУ) согласно ГОСТ 6996-66. Центр надреза Ø2 мм располагали на расстоянии 1 мм от линии сплавления. В заключение образцы подвергали одночасовому воздушному финишному отжигу. Показано, что оксидная плёнка, образующаяся после низкотемпературного отжига, способствует росту ударной вязкости технического титана ВТ1-0. Повышение температуры финишного отжига снижает значения КСУ технического титана до исходного состояния без отжига. Для высокопрочного сплава ВТ6ч отмечено полезное влияние на ударную вязкость состояния поверхности после отжига при 650 °С. Отмечено, что преобладающее влияние на характер зависимости ударной вязкости от температуры отжига оказывают внутренние структурные изменения, протекающие при отжиге, а не состояние поверхности

Ключевые слова: титановые сплавы, сварка, оксидные плёнки

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СТРУИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

**О.Н. Кириллов, В.П. Смоленцев**

В статье представлен анализ возможной траектории движения струи в сочетании с анодным растворением поверхностного слоя при финишной гидроабразивной обработке геометрически сложных поверхностей, например лопаток двигателей летательных аппаратов. Для этого используется объемная модель профиля пера и переходные участки лопаток реактивных двигателей, турбонасосных агрегатов ракетных двигателей и других видов турбомашин. Анализ показал, что предложенный комбинированный процесс является наиболее эффективным для деталей с ограниченным доступом в зону действия инструмента, где разработанный метод струйной обработки имеет значительные преимущества.

Создан математический аппарат для автоматизированного управления струей при обработке сложнопрофильных участков, что позволило сформировать траектории, описывающие плавные изгибы, заданные табличным методом (по точкам).

Анализ возможностей чистовой струйной обработки выполнен с учетом влияния на точность профиля допущений, принятых при разработке программного продукта. Показано, что при использовании современного оборудования для комбинированной струйной гидроабразивной обработки удастся обеспечить высокую точность, ускорить процесс технологической подготовки производства и расширить область эффективного применения комбинированной гидроабразивной обработки на наукоемкие изделия современной техники

Ключевые слова: струя, гидроабразивная комбинированная обработка, программный продукт, математический аппарат, траектория движения

## *Физика*

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЕРШИНЕ КОНУСНОГО НИТЕВИДНОГО КРИСТАЛЛА В ТОЧКЕ ПЕРЕХОДА К ЦИЛИНДРИЧЕСКОМУ РОСТУ

**О.Д. Козенков, В.В. Горбунов, Л.Г. Косырева, Д.Г. Жиликов**

Рост нитевидных кристаллов - многостадийный процесс, сопровождающийся гетерогенной химической реакцией. Влияние температуры на процесс роста может быть существенным. Нитевидные кристаллы растут конусными. Обычно конусность составляет  $10^{-3}$ - $10^{-4}$ . Геометрия кристалла должна учитываться при расчете температуры расплава на его вершине. Предложена модель теплообмена длинного конического нитевидного кристалла в случае стационарного роста при условии, что конусность мала и изменением диаметра можно пренебречь. Уравнение теплового баланса включает: тепловые потоки, обусловленные фазовыми переходами на границах газ-жидкость и жидкость-кристалл, тепловой эффект химической реакции и конвективный теплоотвод с боковой поверхности. Предполагается, что температура в радиальном направлении нитевидного кристалла постоянна, так как его поперечный размер меньше 100 мкм. Модель теплового баланса длинного конического нитевидного кристалла

позволила оценить зависимость температуры на его вершине от радиуса кристалла и распределение температуры по его длине. При уменьшении радиуса кристалла температура на его вершине падает, приближаясь к нулю, в результате увеличения доли боковой поверхности. С увеличением конусности кристалла температура на его вершине падает за счет увеличения поверхности теплоотвода и облегчения теплопроводности при увеличении его поперечного сечения сверху вниз. Для одиночного, длинного, конусного, наноразмерного нитевидного кристалла влияние тепловых эффектов на температуру вершины не существенно

Ключевые слова: нитевидный кристалл, гетерогенная обратимая химическая реакция, конусность, тепловые потоки, тепловой баланс

УДК 538.013

## КОЛЕБАНИЯ КРИСТАЛЛА С ДИСЛОКАЦИЕЙ ПАЙЕРЛСА

И.Л. Батаронов, Т.А. Наденна

В статье на основе самосогласованной динамической теории малых колебаний дислокационных скоплений лагранжев подход обобщен на скопление непрерывно распределенных дислокаций. В качестве примера этого скопления рассмотрено построение уравнения колебаний пайерлсовской дислокации (ПД).

В рамках модели Пайерлса распределение дислокаций в плоскости скольжения определяется введением в лагранжиан энергии несовпадения. Преобразование его к квадратичной по динамическим переменным форме с последующим использованием принципа стационарного действия позволило получить уравнения колебаний кристалла, которое для прямолинейной дислокации преобразуется к интегральному уравнению колебаний дислокации. Для синусоидальной формы аппроксимации пайерлсовского рельефа это уравнение удастся свести к дифференциальному уравнению второго порядка. Появляющаяся здесь функция совпадает с обратной обобщенной восприимчивостью двойниковой границы.

На основе численного решения полученного уравнения были исследованы спектры собственных колебаний ПД. Так, для краевой дислокации найдено, что в коротковолновом пределе фазовая скорость колебаний приближается к скорости поперечного звука, а сами колебания приобретают антифазный характер, т.е. края ПД колеблются в противофазе с ее центральной частью. Аналогичные результаты получены и для локальной частоты винтовой дислокации, но в этом случае фазовая скорость слегка уменьшается. Результаты расчета для промежуточной (смешанной) дислокации показывают, что в длинноволновой асимптотике ПД смещается как целое. Анализ зависимости фазовой скорости от изменения доли составляющих показывает увеличение фазовой скорости с увеличением волнового числа.

Найдено явное выражение обобщенной восприимчивости ПД в длинноволновом приближении. Полученные результаты хорошо согласуются с аналогичным выражением для линейной дислокации, но отличаются от него корректным определением параметра, соответствующего радиусу ядра, и формой высокочастотных зависимостей аргументов логарифмических множителей

Ключевые слова: дислокация Пайерлса, обобщенная восприимчивость

УДК 537.633: 537.312

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ Ni-MgO И $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.А. Гребенников, О.В. Стогней, А.В. Ситников, О.В. Жилова, В.Н. Феклин

Исследованы особенности электрических свойств гранулированных композитов  $\text{Ni}_x(\text{MgO})_{100-x}$  и многослойной системы  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$  при низких температурах. В образцах  $\text{Ni}_x(\text{MgO})_{100-x}$  до порога перколяции сопротивление возрастает с понижением температуры в интервале 77-280 К, что характерно для гранулированных систем металл-диэлектрик. При концентрации никеля, достаточной для образования перколяционного кластера на температурной зависимости сопротивления при ~190 К, наблюдается аномалия – смена знака температурного коэффициента сопротивления, обусловленная влиянием квантовых поправок к проводимости (эффект слабой локализации). Сопротивление образцов многослойной системы  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$  с понижением температуры возрастает во всем интервале 280 – 77 К. Учитывая, что в аморфных пленках  $\text{In}_2\text{O}_3$  при 110 К наблюдается эффект слабой локализации, предполагается, что этот эффект проявляется и в образцах  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$ . Температура его возникновения 280 К, поэтому рост сопротивления при охлаждении обусловлен проявлением данного эффекта. Существенное увеличение температуры возникновения эффекта слабой локализации по сравнению со значениями, характерными для аморфных пленок  $\text{In}_2\text{O}_3$ , обусловлено наличием большого числа центров рассеивания электронов на границе  $\text{In}_2\text{O}_3$  –  $\text{ZnO}$ . При этом электроперенос в образцах  $(\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO})_{83}$  осуществляется преимущественно слоями  $\text{In}_2\text{O}_3$

Ключевые слова: слабая локализация, композит, электропроводность, многослойная система

## **ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ВОДНЫХ ПЛЕНОК НА СТРУКТУРУ КОМПОЗИЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОСФОГИПСА**

**С.Н. Золотухин, О.Б. Кукина, А.А. Абраменко, А.А. Гапеев, Е.А. Соловьева, Е.А. Савенкова**

На сегодняшний день существуют различные способы переработки фосфогипса. В настоящее время авторами статьи разрабатывается технология безобжиговых бесцементных строительных материалов на основе фосфогипса, требующая корректировки для запуска производства стеновых перегородок в промышленных объемах. Преимущество разрабатываемой технологии над существующими в более низких трудо-, энерго-, времязатратах, а также в снижении стоимости конечного материала за счет применения дешевых компонентов смеси. Проведен анализ технологии переработки фосфогипса с использованием обжига, варки в гипсоварочных котлах, автоклавирования. Эти исследования не привели к широкому использованию фосфогипса. Отход фосфогипса продолжает храниться в отвалах, что требует большого количества земли и является экологической проблемой. Технология безобжиговых бесцементных строительных материалов на основе фосфогипса, разрабатываемая авторами статьи, построена на представлении механизма влияния толщины водных пленок на процессы структурообразования между нано- и микроразмерными частицами строительного композита. Приведены данные дифференциально-сканирующей калориметрии, рентгенофазового и микроскопического анализа, подтверждающие гипотезу о том, что толщина водных пленок влияет на формирование нано- и микроструктур поверхностей минеральных компонентов при температурах 60 ... 65 °С и хорошо работает в любых гидратных гидрофильных системах композиционных строительных материалов

Ключевые слова: технология, безобжиговые бесцементные эффективные строительные материалы, фосфогипс, структура