

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ  
МОНИТОРИНГА СОСТАВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА**

**И.Г. Казьмина, К.Ю. Гусев, П.С. Куприенко**

В статье рассматривается задача принятия решений по управлению качеством атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга. В условиях отсутствия полной информации предлагается использовать метод непосредственной оценки для определения групп управляющих воздействий и их сравнительной эффективности. Представлен алгоритм обработки результатов экспертного опроса с целью принятия управленческих решений в области улучшения экологической обстановки.

На основе полученных значений эффективности с помощью метода непосредственной оценки (с учетом ожидаемого снижения концентрации загрязняющих веществ, минимизации количества ресурсов, необходимых для выполнения конкретного мероприятия, реализуемого за минимальные сроки) осуществляется формирование групп управляющих воздействий и представление рекомендаций по управлению качеством атмосферного воздуха.

Задача оценки эффективности мероприятий для управления качеством атмосферного воздуха заключается в поиске альтернатив, т.е. управляющих воздействий, обеспечивающих снижение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере. Группы управляющих воздействий представляются набором мероприятий, проранжированных по степени эффективности и выбираемых в зависимости от уровня загрязнения в мониторинговых точках (высокий, средний, низкий уровни).

Использование новых информационных технологий и создание алгоритма для поддержки принятия решений в задаче управления качеством атмосферного воздуха позволит добиться качественно новых результатов в области обеспечения экологической безопасности крупных городов

Ключевые слова: экспертные оценки, эффективность управляющих воздействий, принятие решений

УДК 004.42

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ  
НА БАЗЕ AUTOCAD**

**В.Ф. Барабанов, Н.И. Гребенникова, А.М. Нужный, В.В. Сафронов**

В статье рассмотрен вопрос разработки модуля параметрического построения твердотельных моделей для графического редактора AutoCAD 2015. В основе разработки лежит универсальный алгоритм преобразования геометрических моделей в параметрические, базирующийся на анализе DXF-файлов. Предложенный подход позволяет выполнить декомпозицию сложной твердотельной модели и сформировать параметрические описания отдельных графических примитивов, входящих в состав модели.

Модуль предназначен для расширения базовых возможностей параметрического твердотельного моделирования, реализованных в графическом редакторе AutoCAD в виде динамических блоков. Основным недостатком этого инструмента является поддержка только поверхностных моделей. Создание твердотельных параметрических моделей при помощи динамических блоков в AutoCAD 2015 не предусмотрено.

Программа выполнена с использованием интерфейса прикладного программирования графического редактора AutoCAD и реализована в виде модуля универсальной автоматизированной информационной системы. Модуль позволяет выполнять параметризацию готовых твердотельных моделей для повышения удобства их повторного использования. Применение сформированных при помощи модуля параметрических моделей дает возможность за короткое время выполнить анализ различных конструктивных схем и избежать принципиальных конструкторских ошибок. При проектировании системы максимально реализован принцип модульности, позволяющий по мере необходимости расширять ее функционал без существенной корректировки ранее созданных модулей

Ключевые слова: твердотельные модели, параметризация, алгоритм, AutoCAD

УДК 681.3

**НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**С.А. Ткалич, О.Ю. Таратынов**

В статье рассматривается возможность применения современных методик прогнозирования как элемента системы управления качеством. Объектом исследований является система контроля качества при производстве железобетонных изделий. Для решения поставленной задачи предложено использовать модернизированный цикл Э. Деминга с прогнозированием состояния R&P-D-C-A. Применен математический инструментальный искусственных нечетких нейронных сетей с обратным распространением ошибки архитектуры вида ANFIS и TSK. Проведен анализ факторов, влияющих на прочность бетона. В качестве входных характеристик выбраны модуль крупности песка, количество зёрен пластинчатой и игольчатой формы в щебне, объемный вес цемента, предел прочности цементного камня. В качестве выходного параметра используется среднеарифметическая величина разрушающего воздействия по результатам трех экспериментов. Сформирована электронная база данных в среде MS Access на основе данных

учетных журналов лаборатории входного контроля предприятия. Сформированы две группы кортежей: для тренировки нечеткой нейронной сети и для проверки натренированной сети на адекватность. Математическая модель показала свою эффективность при тестировании. Средняя величина ошибки составила 9.6 кг/см<sup>2</sup> или 2%

Ключевые слова: система контроля качества, нечеткая логика, нейронные сети, прогнозирование, производство железобетонных изделий

## *Энергетика*

УДК 658.5.011

### **МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОГО ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН**

**А.А. Митрохин, К.Ю. Гусев, В.Л. Бурковский**

Качество выпускаемой продукции является одним из важнейших критериев эффективности любого производства. Повышение качества выпускаемой продукции определяет степень выживаемости предприятия в условиях рынка, рост эффективности производства и экономию всех видов ресурсов, используемых на предприятии.

В данной статье в качестве исследуемого объекта рассматривается потенциально опасный процесс вулканизации в рамках производства автомобильных шин.

В статье формально описан технологический процесс вулканизации шин, а также проанализированы параметры, влияющие на качество выпускаемой продукции. В виде способа улучшения качества выпускаемой продукции предложено использовать аппарат нейронных сетей, который позволяет получить наиболее адекватные результаты для прогнозирования качества выпускаемой продукции по сравнению с традиционными математическими моделями.

Обоснована необходимость использования аппарата нейронных сетей применительно к процессу вулканизации для прогнозирования качества продукции, а также уменьшения экономических издержек

Ключевые слова: прогноз, опасное производство, вулканизация

УДК 681.5

### **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ “PUMA-560”**

**В.А. Медведев**

В статье рассматриваются вопросы разработки и исследования исполнительного и тактического уровней микропроцессорной системы управления манипулятором “PUMA-560”. Представлена расчетная схема манипулятора, определено математическое описание манипулятора и исполнительных приводов как объекта управления. Разработаны алгоритм и программа моделирования исполнительного уровня системы робота в системе MATLAB. Проведено моделирование динамических режимов манипулятора “PUMA-560” с приводами постоянного тока.

Разработан исполнительный уровень системы управления на основе шести модулей, выполненных на основе PIC-микроконтроллеров и обеспечивающих непосредственное цифровое управление двигателями манипулятора в соответствии с принципом подчиненного регулирования. Предусмотрено управление координатами по интерфейсу RS-485, а также с помощью дискретных и аналоговых сигналов. Обеспечены стабилизация скорости вращения каждого исполнительного двигателя на заданном уровне, а также отработка заданной траектории рабочего органа с использованием сигналов датчиков положения.

Разработан тактический уровень системы управления на основе персонального компьютера. Сформированы сигналы задания перемещений, скоростей и ускорений координат манипулятора по методу кубических сплайнов. Разработаны алгоритмы и программы интерполяции траектории и формирования управляющих сигналов при последовательном и параллельном перемещении координат манипулятора. Проведены экспериментальные исследования робота в режиме стабилизации скоростей координат и в режиме отработки заданной траектории рабочего органа

Ключевые слова: робот, манипулятор, динамическая модель, исполнительная система робота, тактический уровень управления

УДК 004.8, 004.94, 51-74, 621.37

### **СИСТЕМА НЕЙРОУПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ 3D-СЕТИ В УСЛОВИЯХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**В.Ж. Бочаров, В.Л. Бурковский**

Статья посвящена разработке системы управления робототехническим комплексом для экстремальных условий внешней среды. В качестве объекта управления рассмотрен РТК для проведения ремонтных работ на АЭС. Экстремальные условия внешней среды могут оказать серьезное негативное влияние на робототехнический комплекс. Под экстремальными условиями подразумеваются два типа факторов: природные (температура, давление, разреженность воздуха т.д.) и антропогенные (ионизирующая радиация, магнитные и электрические поля, различные перегрузки). Для преодоления подобных негативных факторов системы РТК должны обладать гибкостью и быть

интеллектуальными. Описано техническое устройство основных подсистем РТК. Из-за суровых специфических условий работы РТК должен обладать большой надежностью, поэтому за основу архитектуры системы управления в рамках статьи взят принцип гибридного параллельного нейроуправления. Рассмотрена типичная схема на основе этой архитектуры и переработана в соответствии с реалиями объекта управления. Разработана и описана по пространственным слоям 3D нейронная сеть нейроконтроллера. Описанный в рамках статьи подход к разработке систем управления позволяет добиться значительной оптимизации и устойчивости всей работы системы, а использование «обычного» контроллера в паре с нейроконтроллером повышает надежность и отказоустойчивость системы управления и РТК в целом

Ключевые слова: нейроуправление, робототехника, экстремальные условия, нейронные сети, оптимизация

УДК 614.841.41

## **ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ И ЭНЕРГИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА ДЛЯ ВЕЩЕСТВ ГОМОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ Н-АЛКИЛПРОПАНОАТОВ И Н-АЛКИЛБУТАНОАТОВ**

**А.М. Чуйков, Ю.К. Сунцов, Ю.Н. Сорокина,  
В.И. Лукьяненко, А.Н. Шуткин**

Количество органических соединений превысило 40 миллионов и увеличивается каждый год на 300 тысяч. Для технологических расчётов процессов производства, хранения и транспортирования веществ необходимы данные о термодинамических свойствах и показателях пожаровзрывоопасности веществ. Эти данные получают, исследуя фазовые равновесия жидкость-пар. Известно, что исследование равновесий жидкость-пар связано с большими экспериментальными трудностями. Поэтому разработка метода прогнозирования показателей пожароопасности и термодинамических свойств веществ, исходя из минимального количества экспериментальных данных, является актуальной задачей. В данной статье эбулиометрическим методом при различных давлениях измерено давление насыщенного пара десяти веществ гомологических рядов н-алкилпропаноатов и н-алкилбутаноатов. С использованием стандарта идеального газа (взятого при температуре и объеме жидкости) рассчитаны значения внутренней энергии, энтропии и энергии Гельмгольца веществ. Установлено, что значения термодинамических функций аддитивно зависят от молярной массы веществ в гомологических рядах. Анализом литературных данных обнаружена также аддитивная зависимость температур вспышки от молярной массы веществ в гомологических рядах. С учетом общей направленности изменения этих свойств выявлена взаимосвязь значений энергии Гельмгольца с температурой вспышки веществ в гомологических рядах. Приведены уравнения, позволяющие прогнозировать температуру вспышки и термодинамические свойства веществ с необходимой для технических целей точностью

Ключевые слова: температура вспышки, внутренняя энергия, энтропия, энергия Гельмгольца, уравнения состояния

УДК 628.5

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

**М.Н. Жерлыкина, С.А. Яременко, А.А. Мерщев, Н.А. Драпалюк**

Аварийность во многих отраслях промышленности Российской Федерации и зарубежных стран сохраняется на достаточно высоком уровне, что приводит к масштабному загрязнению окружающей природной среды и гибели людей. Наиболее аварийно-опасными производственными объектами по-прежнему остаются предприятия химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Анализ случаев аварийных ситуаций с выбросом в атмосферу вредных веществ свидетельствует о необходимости разработки технических и санитарно-гигиенических мер, выводящих качество воздуха рабочей зоны помещения и на границе санитарно-защитной зоны на уровень нормативных показателей.

Аварийный выброс вредного вещества является внезапным и кратковременным. Возникновение аварийного выброса на химическом предприятии носит вероятностный характер.

Существующие схемные решения устройства аварийной вентиляции заключаются в удалении воздуха из зон максимальных концентраций вредных веществ, где могут образовываться взрывоопасные смеси. Не исследованы схемы аварийной вентиляции с естественным и частичным механическим притоком воздуха. Их применение в значительной мере позволило бы сократить затраты на энергию и приобретение вентиляционного оборудования.

В настоящей работе предложены результаты исследования поля концентраций химических вредных веществ во всем объеме помещения при работе аварийной вентиляции с заданным воздухообменом. Взрывобезопасность производственных помещений обеспечивается при условии 10 % нижнего предела распространения пламени по газоздушным смесям и соблюдения равенства концентраций вредного вещества в рабочей зоне и в уходящем воздухе. Определены условия повышения эффективности аварийной вентиляции, исключающие образование застойных зон и обеспечивающие нормируемые концентрационные пределы распространения пламени по газоздушным смесям в помещении

Ключевые слова: концентрация, взрывобезопасность, застойная зона, газозвдушная смесь

## *Радиотехника и связь*

УДК 537.8

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ Е-СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ ВЛАГОПОГЛОЩАЮЩИХ УСТАНОВОК**

**Ю.Г. Пастернак, В.М. Питолин, М.Н. Федоров, Д.М. Федоров**

В работе рассматриваются математическая модель, адекватно описывающая ЭМП, создаваемое системой индукционного нагрева, применительно к задаче влагопоглощения, и результаты экспериментальной проверки распределения электромагнитного поля вокруг источника, представляющего собой индуктор, а также расчет напряженности электрической компоненты поля в заданном объеме пространства, создаваемого индуктором, состоящим из нескольких витков медного провода, основанный на математической модели нагрева диэлектрической таблетки, помещенной внутрь электронно-лучевых трубок. Рассматривается воздействие электромагнитных полей на человека, технологические процессы, состоящих из нескольких однотипных источников. Приводится расчет границ санитарно-защитной зоны для трех индукторов на стадии проектирования промышленных производственных участков. Построение математической модели прогнозирования уровня распределения Е-составляющей электромагнитного поля позволило посредством компьютерного моделирования оценить зависимость формы санитарно-защитной зоны вокруг исследуемого объекта от взаимного расположения источников электромагнитного поля, к которым подведена одинаковая мощность от генераторов высокочастотного нагрева. Проведено изучение влияния геометрических и электромагнитных свойств системы индукционного нагрева на излучаемое поле; выяснение общих закономерностей поведения электромагнитного поля в ближней зоне и формулирование рекомендаций по определению линейных размеров зоны, где напряженность электрической компоненты поля меньше нормируемых значений. Инструментальные измерения и расчетные значения параметров электромагнитного поля подтвердили адекватность предложенной модели

Ключевые слова: математическая модель, установки высокочастотного нагрева, электромагнитное поле, влагопоглощение

УДК 681.3.042.5:621.39

### **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОДОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

**Б.В. Матвеев, В.А. Середа**

Предлагается методика построения непримитивных корректирующих циклических кодов длиной с кратностью равной байту для цифровых систем передачи и обработки информации, включая устройства памяти, а также систем передачи данных, использующих обратную связь. В таких системах важную роль играет правильный выбор корректирующего кода, обеспечивающий исправление или обнаружение ошибок и повышающий их эффективность. Разрядность данных обычно используют кратной 8 (байту), что напрямую связано с соответствующей кратностью процессорных устройств (16, 32, 64). При этом число информационных и проверочных символов кода также должно быть кратным байту и может выбираться одинаковым или отличаться в пределах той же кратности. Наиболее часто циклические корректирующие коды являются примитивными, и их длина не соответствует кратности байту. Это приводит к необходимости выбора непримитивных циклических кодов, набор которых, к сожалению, ограничен. В связи с этим в ряде случаев возникает потребность построения непримитивного циклического кода для решения определенных задач в цифровых системах, что может быть реализовано с помощью конкретной методики выбора образующего полинома. Образующий полином циклического кода должен удовлетворять следующим требованиям: должен быть ненулевым; вес его не должен быть меньше кодового расстояния кода; должен иметь максимальную степень числа проверочных символов в коде; все разрешенные кодовые комбинации циклического кода должны иметь свойство делимости на полином без остатка. Для получения нового полинома для циклического кода была разработана специальная программная процедура, реализованная на ЭВМ. Последовательность действий в процедуре следующая: формирование набора двоичных чисел с заданной разрядностью; отбор двоичных чисел с весом большим или равным кодовому расстоянию корректирующего кода; формирование полиномов из набора двоичных чисел; построение образующей матрицы кода по полиномам; проверка образующей матрицы кода на существование кода с заданным кодовым расстоянием; переход к новому полиному в случае невыполнения условия по кодовому расстоянию; фиксация всех полиномов, удовлетворяющих требованиям существования образующей матрицы кода. Таким образом, предложенная методика выбора непримитивных полиномов для циклических корректирующих кодов длиной кратной байту может быть реализована для получения других еще не построенных корректирующих циклических кодов для применения их в цифровых устройствах различного назначения

Ключевые слова: циклический код, кодовое расстояние, обработка информации

УДК 621.391.822

## **ДИАГНОСТИКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ**

**М.И. Горлов, А.А. Скоморохов, Д.М. Жуков**

В современной технике повсеместно распространено применение микроконтроллеров (МК) в качестве управляющих компонентов. Это обусловливается рядом причин, в числе которых простота разработки и внедрения, дешевизна, относительно низкое энергопотребление, малые габариты и широкий спектр применения. При использовании микроконтроллеров в таких областях, как автомобильная электроника, медицинская техника и пр., встает вопрос об обеспечении надлежащей надежности данных приборов [1].

На сегодняшний день лидирующими методами контроля качества и надежности полупроводниковых изделий являются разрушающие методы, достоверность которых неоднократно доказана. Среди современных диагностических методов самыми актуальными являются неразрушающие методы контроля качества, так как они позволяют, не повреждая кристалл, определить его внутренние свойства. В связи с этим ведется активная работа по поиску альтернативных методов разбраковки полупроводниковых изделий.

В данной статье описан метод диагностического неразрушающего контроля качества микроконтроллеров, основанный на измерении критического напряжения питания. В статье доказывается зависимость минимального рабочего напряжения от дефектности интегральной схемы, которая проявляется в разбросе параметров исходных материалов и нестабильности технологических процессов при производстве полупроводниковой продукции.

Метод ориентирован на разделение микроконтроллеров по надежности на этапе как выходного, так и входного контроля интегральных схем с целью повышения уровня качества электронно-компонентной базы. Метод актуален для устройств, закладываемых в схемы с повышенными требованиями к качеству используемых управляющих компонентов

Ключевые слова: микроконтроллер, управляющее устройство, критическое напряжение питания, качество интегральных схем

УДК 621-391

## **ЦИФРОВОЙ ДЕМОДУЛЯТОР «В ЦЕЛОМ» ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ, КОДИРОВАННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ УОЛША**

**В.П. Литвиненко, А.А. Шафоростова, А.Н. Глушков, А.А. Макаров**

Рассматриваются возможность аппаратной реализации и характеристики цифрового демодулятора «в целом» фазоманипулированных сигналов, кодированных последовательностями Уолша, на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Обработка сигнала «в целом» позволяет значительно повысить помехоустойчивость демодулятора по сравнению с поэлементным приемом и последующим декодированием кодовых комбинаций, однако известные технические решения требуют значительных вычислительных затрат, что затрудняет их реализацию при обработке высокочастотных сигналов. Использование некогерентной обработки сигналов с фазовой манипуляцией дает возможность отказаться от фазовой синхронизации демодулятора, что существенно упрощает аппаратуру. Описывается быстрый цифровой алгоритм некогерентной демодуляции кодированного фазоманипулированного сигнала «в целом», требующий выполнения минимального числа простых арифметических операций за период несущей. На исследуемый демодулятор получен патент РФ. Для его реализации на ПЛИС на языке VHDL разработано описание алгоритма демодуляции, проведен синтез HDL-кода и имплементация его при фиксированных параметрах сигнала. Проводится оценка затрат аппаратных ресурсов различных серий современных ПЛИС фирмы Xilinx для различных параметров обрабатываемого сигнала, определяется рабочий частотный диапазон и мощность, потребляемая кристаллом на высокой тактовой частоте. Приводится выражение для расчета вероятности ошибки демодуляции. Методами статистического имитационного моделирования в системе Matlab/Simulink проверяется работоспособность реализации демодулятора на базе ПЛИС, исследуется его помехоустойчивость при различных параметрах сигнала. Результаты исследований свидетельствуют о возможности аппаратной реализации предлагаемого демодулятора

Ключевые слова: фазовая манипуляция, цифровая демодуляция, коды Уолша, ПЛИС, VHDL, Matlab

УДК 538.975, 621.382.323

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ FD SOI СТРУКТУРЫ В САПР TCAD**

**Е.Ю. Плотникова, В.Е. Бельков, А.А. Винокуров, А.В. Арсентьев**

Работы в области повышения радиационной стойкости транзисторов в 70-х гг. дали развитие структурам КНС и КНИ, обладающим рядом преимуществ и высокой стоимостью. Дальнейшее совершенствование направления привело к появлению технологии FD SOI – транзисторов с полностью обедненным каналом. Структуры такого типа нашли применение в микропроцессорных устройствах и до последнего времени успешно конкурировали с альтернативной технологией создания транзисторов типа FinFET. Проведен анализ технологии FD SOI и сравнение ее с обычной планарной технологией на объемном кристалле кремния. В работе рассматривается алгоритм моделирования транзистора типа FD SOI в САПР TCAD. Описывается настройка параметров моделирования в модулях Athena и Atlas. Приведены геометрические размеры структуры, обоснована настройка сетки моделирования, названы области структуры. Для численного расчета указаны используемые физические модели и математический метод расчета. В результате моделирования построены выходные характеристики структуры. Анализ ВАХ показал типичные кривые для МОП транзисторов, что указывает на правильность подбора геометрических и электрофизических параметров используемой модели FD SOI транзистора. Разработанный технологический маршрут создания FD SOI транзистора в редакторе Athena может быть использован для изготовления как дискретных транзисторов, так и элементов интегральных схем

Ключевые слова: FD SOI, полностью обедненная структура кремний на изоляторе, САПР Silvaco TCAD, технологический процесс, моделирование ВАХ

УДК 621.396

## **ВЕРИФИКАЦИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ, СОЗДАННОЙ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА CREO**

**В.И. Борисов, П.В. Иевлев, А.В. Муратов, Т.Л. Тураева, А.В. Турецкий**

Конечно-элементный метод, реализованный в программном пакете CREO, является оптимальным инструментом для проектирования радиоэлектронных средств. Для проведения численного модального анализа разработана математическая модель радиоэлектронного модуля третьего уровня на основе 3D компьютерной модели, созданной с помощью САД-модуля CREO. Численный модальный анализ осуществлен методом конечных элементов в программном комплексе CREO.

С целью верификации конечно-элементной модели проведены испытания созданного изделия методом качающейся частоты. Схема динамического испытания разработана в соответствии с полученными данными при модальном анализе. В качестве направления вынужденных колебаний выбрана вертикальная ось объекта испытания. Резонансные явления наблюдались в диапазоне 100–500 Гц, что соответствует полученной при модальном анализе конечно-элементной модели.

По результатам проведенных испытаний произведена верификация конечно-элементной модели. На основании сравнительного анализа расчетных резонансных частот, полученных в программном комплексе CREO, и резонансных частот, полученных по результатам натурных испытаний на вибростенде, сделан вывод о том, что созданная математическая модель конструкции радиоэлектронного модуля третьего уровня адекватно отражает жесткостные, массовые и геометрические параметры конструкции. Установлено хорошее соответствие результатов с экспериментальными данными, несоответствие не превышает 5%

Ключевые слова: радиоэлектронные модули, проектирование, конечно-элементная модель, статический анализ, модальный анализ

УДК 621.396

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ДИПОЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПУТЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

**В.В. Глотов**

Решение вопросов электромагнитной совместимости становится в настоящее время неотъемлемым элементом деятельности предприятий - разработчиков и изготовителей технических средств, основой которых, как правило, являются печатные узлы. Обычная печатная плата может иметь сотни или даже тысячи цепей. При этом каждый контур является потенциальным источником энергии, который в конечном итоге может непреднамеренно воздействовать на другие цепи или элементы. В статье представлена печатная плата массивом магнитных диполей, найденным из оптимизации генетических алгоритмов, основанных на сканировании ближнего поля. Основная идея заключается в реализации сбалансированной многокритериальной оптимизации с учетом как точности (лучше приспособленной к полю), так и эффективности (меньше диполей) за счет правильного определения генов и процесса эволюции. Количество и расположение используемых диполей, определенных из оптимизации, а не заранее определенного эмпирического значения, дают более эффективное представление печатной платы. Кроме того, метод работает

с несколькими видами информации ближнего поля (амплитуда, амплитуда и фаза, любой компонент или комбинация) при условии, что данная информация достаточна для электромагнитной характеристики

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, печатные платы, диполь, излучения

### ***Машиностроение и машиноведение***

УДК 621.9.047

## **МЕХАНИЗМ И ПРОЦЕССЫ КОМБИНИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ**

**М.В. Кондратьев, Е.В. Смоленцев, В.П. Смоленцев**

Показана эффективность интенсификации процесса электроэрозионной обработки путем подогрева места разряда. В комбинированном процессе эффективным источником тепловой энергии оказался факел плазмы, поэтому перед нанесением покрытия предложено облучить поверхность детали, придав лучу осциллирующее движение в направлении подачи электрода-инструмента. Приведены требования к покрытиям: структура и др. Учтены основные факторы, влияющие на протекание механизма нанесения покрытия: режим электроэрозионного и плазменного процесса, жидкотекучесть материала электрода.

Приведено принципиальное отличие комбинированного процесса от ранее использованного процесса последовательного нанесения покрытий, разнесенного по времени. Это позволяет сохранять суммарную тепловую энергию покрытия с минимальными потерями и снижать градиенты температур, вызывающих внутренние напряжения в покрытии и его растрескивание. Поэтому для получения качественного покрытия при рассмотрении механизма и процессов комбинированной обработки смещение луча плазмы на стадии нанесения упрочняющего слоя относительно электрода-инструмента должно быть минимальным, но во всех случаях последний слой должен наноситься на покрытие, полученное электроэрозионным методом до его остывания за счет теплоотдачи

Ключевые слова: подогрев, покрытие, электроэрозионное упрочнение, плазма

УДК 62-213.6

## **ОСОБЕННОСТИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ГОФРОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ЧАСТИ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ (ТРД)**

**М.В. Молод, В.И. Максименков, В.И. Федосеев**

В статье рассмотрен новый тип звукопоглощающих гофровых конструкций (ЗПК). Особенность данной конструкции заключается в том, что в пространство между гофрами помещают гофрированную вставку, которая обеспечивает повышение акустической эффективности, что подтверждается испытаниями образцов гофровой панели на стенде «канал с потоком» во ФГУП «ЦАГИ».

Рассмотрены основные материалы, применяемые для изготовления гофровых панелей, проведены механические испытания листовых материалов. В статье представлен технологический процесс изготовления гофровой конструкции, при этом рассмотрен этап перфорирования заготовок, который осуществляется на прессе с ЧПУ. Разработана конструкция штампа, позволяющая осуществлять формообразование гофров без утонения материала заготовки. Приведена схема процесса сварки обшивок с гофровым наполнителем. Приведены параметры гофрового наполнителя и вставки.

Выполнены расчеты плотности гофрового наполнителя, определены весовые параметры гофровой панели со вставкой для различных материалов. Определены предельные значения напряжений сжатия для исследуемых материалов.

Методом конечных элементов проведены исследования образцов гофровой панели, в результате которых определен характер потери устойчивости гофров и наиболее нагруженные элементы конструкции. Полученные данные представлены в виде картины распределения напряжений по поверхности гофрового наполнителя

Ключевые слова: гофровый наполнитель, вставка, контактная сварка

УДК 621.771.019.001.18

## **РАЗРАБОТКА БАЗ ДАННЫХ МАТЕРИАЛОВ САПР БЕЗДЕФЕКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

**В.В. Елисеев, А.М. Гольцев, Л.В. Хливненко, Ю.Б. Рукин**

Излагается структура баз данных материалов современных САПР технологических операций листовой штамповки, которые позволяют предсказывать различные браковочные признаки деформационного типа: разрывы, потерю устойчивости в форме образования шейки, рекристаллизационные превращения и линии Людерса. Описывается математическая модель материала, которая используется при создании баз данных САПР ТО и управляющих программ ЧПУ станков при холодной или горячей многопереходной штамповке листовых и профилированных деталей с промежуточной термообработкой.

Предельные деформации материала заготовки, по которым проектируется технология гибки, обтяжки, вытяжки резиной и по жесткому пуансону, определяются оригинальными методами измерения геометрии трещин в области разрушения при различных деформированных состояниях заготовки. В процессе холодного пластического формоизменения заготовки и промежуточной термообработки учитываются как накопленная деформация, так и восстановление запаса пластичности в процессе промежуточных термообработок. Параметры этой модели определяются экспериментально.

Предложена методика учета естественного старения материала заготовки с помощью функций деформационного упрочнения и длительности старения термоупрочняемых сплавов, что позволяет автоматически корректировать управляющую программу процесса в случае задержки штамповки по техническим причинам. В результате разбиения технологического процесса на переходы чередованием холодной деформации с промежуточной термообработкой обеспечивается бездефектное изготовление деталей

Ключевые слова: базы данных материалов, механические технологические испытания  
УДК 621.9.047

## **ПРОЦЕСС ЭРОЗИОННО-ЛУЧЕВОГО ПЛАЗМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ**

**М.В. Кондратьев, Е.В. Смоленцев, В.П. Смоленцев**

В статье раскрыт механизм нанесения комбинированных эрозионно-лучевых плазменных покрытий, что дало возможность научно обоснованно представить физическую модель процесса, положенную в основу математического моделирования.

Для описания процедуры формирования покрытий предложен новый принцип разделения комбинированного процесса на логически развивающиеся последовательные этапы, с учетом которых удалось рассмотреть механизм как единый процесс.

Представлена математическая модель, учитывающая исходные и граничные особенности процессов при нанесении и упрочнении покрытий, что является базой для проектирования технологического процесса эрозионно-лучевого нанесения слоев с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

Приведены экспериментальные исследования, подтвердившие правомерность модели комбинированного процесса, что служит основанием для разработки достоверных методик расчета режимов эрозионно-лучевого покрытия.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, приведенные в статье, позволили выявить новые взаимодействия между параметрами комбинированного покрытия, что дало возможность создать новые способы на уровне изобретений

Ключевые слова: процесс, эрозионно-лучевая обработка, покрытия, этапы, плазменное упрочнение, эксперимент

УДК 621.9.047

## **ПОГРЕШНОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ**

**А.И. Болдырев, А.А. Болдырев**

В настоящее время разработаны достаточно подробные структурные модели процесса электрохимической размерной обработки, но до сих пор нет полных и четких классификаций погрешностей. В работе предпринята попытка обобщения и систематизации применяемого в технологии машиностроения группирования действующих факторов и погрешностей по этапам достижения точности применительно к электрохимической размерной обработке. Показано, что на достижение заданной точности процесса обработки оказывают влияние погрешности, определяемые характеристиками заготовки, инструмента, станка, способа измерения. Рассмотрены действующие факторы и соответствующие погрешности по этапам достижения точности: при установке и закреплении заготовки; статической и динамической настройкам технологической системы станок-приспособление-инструмент-деталь.

Определение причин, вызывающих погрешности при обработке заготовок на электрохимических станках, позволило установить связь между этими причинами и величинами погрешностей. Знание причин и величин элементарных погрешностей, различающихся по характеру их воздействия на технологическую систему, дает возможность определить суммарную погрешность при обработке и спрогнозировать достижимую точность процесса, оценить точность комбинированных процессов, включающих традиционную электрохимическую размерную обработку.

Проведенный анализ действующих факторов и составляющих погрешностей позволяет наметить пути повышения точности электрохимической размерной обработки деталей машин

Ключевые слова: погрешности, точность, электрохимическое формообразование

*Физика*



УДК 533.9:621.357.7

## **ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ТРАВЛЕНИЯ НИОБАТА И ТАНТАЛАТА ЛИТИЯ ВО ФТОРСОДЕРЖАЩЕЙ ПЛАЗМЕ**

**И.В. Коняев, Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.А. Буслов, Е.А. Сизаск**

В статье проведен сравнительный анализ кинетических особенностей процесса плазмохимического травления полированных монокристаллических образцов  $\text{LiNbO}_3$  и  $\text{LiTaO}_3$  фторсодержащими радикалами. Эксперименты проводились на установке Sorial D250 с реакционно-разрядной камерой диодного типа.

Данные о скорости травления позволяют дать количественную оценку процессу плазмохимического травления исследуемых материалов. Методом рентгеновской дифрактометрии установлено, что в процессе травления как ниобата, так и танталата лития образуется твердый продукт реакции – фторид лития ( $\text{LiF}$ ). Таким образом, следует говорить о типичных топохимических реакциях. При этом образование твердого продукта оказывает влияние на кинетику травления, что было выявлено с помощью анализа экспериментальных данных. Исследование временных зависимостей скорости травления показало рост в начальный период времени, наличие максимума и медленный спад при дальнейшем увеличении времени травления, что связано с тормозящим влиянием фторида лития на диффузию фторсодержащих радикалов к границе раздела  $\text{LiTaO}_3 - \text{LiF}$  ( $\text{LiNbO}_3 - \text{LiF}$ ). Величина подводимой мощности оказывает качественно подобное влияние для обоих материалов. Отличия носят лишь количественный, но зачастую значительный характер. При этом наблюдается нелинейный рост скорости травления при увеличении подводимой мощности

Ключевые слова: плазмохимия, ниобат лития, танталат лития

УДК 678.01:539.3/4

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЫКЛАДКИ**

**М.Ю. Воскобойник, О.А. Караева, А.М. Кудрин, Д.В. Полухин, А.А. Лялин**

В данной статье рассмотрены технологические процессы получения препрегов на основе растворных и расплавных связующих. С учётом требований, предъявляемых к свойствам материала, адаптированного для автоматизированной выкладки с использованием комплекса выкладки MAG Viper 1200, выбраны исходные армирующие наполнители и полимерные связующие растворного и расплавного типа. Отработаны оптимальные режимы получения препрега на основе однонаправленных углеродных лент с использованием нитей Formosa TC-35 12K, а также углеродных лент марок ЛУ/П и УОЛ-300Р с применением растворного связующего марки ЭНФБ и расплавных клеевых связующих марок Т-6815 и Т-107. В процессе отработки режимов изготовления адаптированного технологического материала получены партии препрега по каждому режиму и проведены исследовательские испытания их физико-механических свойств на соответствие заданным эксплуатационным характеристикам выбранного класса материалов авиационного назначения.

Исследовательские испытания позволили собрать массив теоретических данных, позволяющих установить связь между прочностными свойствами партий технологического материала и входными управляемыми параметрами процесса пропитки. Полученные данные послужили основой для создания математической модели технологического процесса получения технологического материала с заданными эксплуатационными свойствами.

В результате проведенной работы разработан оптимальный технологический процесс изготовления материала (препрега) для процесса автоматизированной выкладки и определены материалы, обладающие наилучшей технологичностью для последующей переработки с целью их адаптации согласно требованиям, предъявляемым для комплексов выкладки на примере установки MAG Viper 1200

Ключевые слова: препрег, автоматизированная выкладка, технология изготовления, растворное и расплавное связующее, полимерные композиционные материалы, технологичность

УДК 669.13.018

## **ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ТВЕРДОСТЬ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ**

**Л.С. Печенкина**

Объектом исследования являются комплексно-легированные белые чугуны для износостойких тонкостенных отливок, которые обладают необходимыми прочностью, твердостью и ударной вязкостью уже в литом состоянии, то есть без упрочняющей термической обработки. Задачей исследования является оценка условий

структурообразования, которые формируют композиционную структуру сплавов, влияющую на механические свойства литых деталей, в частности, на твердость. Для исследования были выплавлены сплавы, состав которых находился в следующих пределах, %: 1,8-2,2 С; 2,5-4 Mn; 6-7 Cr; 6,5-8 V; до 1 Si. В связи с тем, что очень сильное влияние на свойства сплавов оказывает степень аустенизации их структуры, зачастую перекрывая влияние других факторов, все исследуемые сплавы были разбиты на несколько групп по количеству аустенита в их структуре (или по содержанию марганца как основного элемента-аустенизатора). Распределение сплавов по группам проведено на основе анализа зависимостей твердости от содержания марганца и степени аустенизации.

Определено, что различие в количественном влиянии карбидов MC и  $M_7C_3$  на твердость сплавов с 12 % аустенита в структуре небольшое, и поэтому повышение твердости зависит в основном от увеличения общего количества карбидов. Карбидообразование и в сплавах с 12-35 % марганца влияет на твердость слабо, а образование карбидов  $M_7C_3$  даже приводит к небольшому снижению твердости. Значительно повышают твердость в сплавах, содержащих более 30 % аустенита, карбиды MC (примерно в 3 раза сильнее, чем карбиды  $M_7C_3$ ).

Установлено, что комплексное легирование и модифицирование исследуемых малоуглеродистых белых чугунов позволяет существенно уменьшить общую степень легирования (особенно по ванадию) с сохранением достаточно высокой твердости (не менее HRC 57) даже при преобладании аустенитной структуры матрицы, что должно обеспечить у этих сплавов высокую конструктивную прочность и хорошие эксплуатационные свойства

Ключевые слова: белый чугун, хром, ванадий, легирование, твердость  
УДК 678.01:539.3/4

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЫКЛАДКИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

**К.С. Габриельс, О.А. Караева, А.М. Кудрин, Д.В. Полухин**

В статье представлены результаты исследовательских испытаний по разработке технологии автоматизированной выкладки полимерного композиционного материала на основе безуткового армирующего наполнителя из нитей Formosa TC-35 12K и полимерного эпоксидного связующего T-107 для высокотехнологичного комплекса автоматизированной выкладки MAG Viper 1200. Решены задачи по переработке препрегового материала под технические требования использованного комплекса выкладки (порезка и перемотка лент), разработаны и отработаны технологические режимы автоматизированной выкладки экспериментальных плоскопараллельных образцов и проведен комплекс их физико-механических испытаний. На основании полученных значений прочностных характеристик материала выбран оптимальный технологический режим автоматизированной выкладки с соответствующими величинами управляющих параметров выкладки (давление ролика, температура нагрева оснастки, натяжение препрега) и режимов формования образцов (температура формования, давление формования, время формования). Построена математическая модель технологического процесса автоматизированной выкладки, которая позволяет проводить прогнозирование и оценку влияния управляющих параметров выкладки на прочностные характеристики материала

Ключевые слова: углеродная однонаправленная лента, препрег, полимерные композиционные материалы, технологичность, автоматизированная выкладка, технология