

Информатика, вычислительная техника и управление

ПРИМЕНЕНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Д. Данилов, В.А. Ломакин

Аннотация: рассматриваются проблемы и узкие места создания календарных планов металлообрабатывающего производства, а также сложности синтеза интеллектуальной системы управления гибкими автоматизированными производствами, позволяющей оптимально распределять нагрузку между технологическими единицами. Для решения проблем, возникающих в процессе составления графиков и расписаний дискретного производства, предлагается интерпретировать задачу распределения заданий между станками и прочим технологическим оборудованием в виде взвешенного графа, вершинами которого будут являться операции над деталями. В данной ситуации в качестве эффективного метода оптимизации графика запуска деталей в обработку на технологическом оборудовании был использован алгоритм муравьиных колоний, который отлично справляется с задачами большой размерности. Для применения данного метаэвристического подхода в интеллектуальной системе диспетчеризации гибкого автоматизированного производства была проведена адаптация алгоритма муравьиных колоний к особенностям задачи календарного планирования. Данная интеллектуальная система в целях тестирования была реализована в математическом пакете MATLAB, результатом её работы является сориентированный граф, иллюстрирующий распределение оборудования между операциями над деталями, очередность выполнения заданий станками с числовым программным управлением, время выполнения блока операций

Ключевые слова: гибкие автоматизированные производства, диспетчеризация, календарное планирование, муравьиный алгоритм

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАБОТ

С.А. Олейникова

Аннотация: объектом исследования в данной работе являются стохастические многостадийные системы, процесс обслуживания в которых представляет собой выполнение множества последовательно-параллельных работ со случайной длительностью обслуживания. В этом случае время обслуживания всей заявки является случайной величиной. Несомненный интерес представляет оценка числовых характеристик случайной величины, описывающей данную длительность. В настоящее время существует подход PERT, позволяющий получить искомые оценки. Однако предположения, на основании которых получены данные оценки, не для всех систем могут иметь место. Более того, в некоторых случаях эти предположения неправомерны. В связи с этим возникает вопрос о точности предлагаемых оценок метода PERT. Целью работы является оценка аналитических возможностей, позволяющих максимально точно оценить характеристики исследуемой величины. Анализ специфики исследуемых систем позволил аналитически описать искомую случайную величину как максимум из множества величин, представляющих собой длительности последовательности работ, стоящих на данном пути. В работе исследована возможность аналитического получения характеристик случайной величины, в результате чего сделан вывод о целесообразности подключения аппарата численных методов. Таким образом, проанализированы особенности оценки числовых характеристик случайной величины, описывающей длительность выполнения комплекса последовательно-параллельных работ

Ключевые слова: стохастические многостадийные системы, длительность обслуживания, PERT, математическое ожидание, дисперсия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ПРОМПРОДУКТОВ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦИНКА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ

А.Л. Рутковский, М.А. Ковалева, В.М. Алкацев, А.К. Макоева

Аннотация: основным объектом анализа является поиск оптимальной температуры отходящих газов в вельц-печи, при которой достигается максимальная производительность процесса. Изменение расхода газа оказывает влияние на температурный режим печи, а также на качественные показатели процесса. Увеличение расхода газа приводит к увеличению общего объема сырых материалов, поступающих в печь, на их подогрев и испарения влаги требуется больше. Приведены результаты исследования влияния загрузки шихты и коксика, собраны

среднесуточные данные за длительный период работы вельц-печи, которые соответствуют нормальной работе печи, и был проведен анализ влияния расхода газа на температуру отходящих газов, с помощью программного продукта MathCad. Рассмотрены модели взаимосвязи: линейная, кубическая, квадратичная, и для каждого вида модели произведен расчет остаточной дисперсии. Было выявлено, что наименьшая остаточная дисперсия – при кубической регрессионной модели. Полученные результаты являются основой для построения автоматизированной системы регулирования температуры отходящих газов. При автоматизации управления вельц-процессом наряду с задачами контроля и стабилизации режимных параметров целесообразно решать оперативную задачу оптимизации режимов. При этом режиме обеспечена максимальная производительность печи, следовательно, нагрузка на окружающую среду снижается

Ключевые слова: вельц-процесс, регулирование температуры, оптимизация, восстановление, отходящие газы, регрессионный анализ

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ MATLAB+SIMULINK ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А.М. Литвиненко, Л.Б. Афанасьевский, А.Н. Горин, М.А. Чурсин

Аннотация: одним из возможных путей, позволяющих сократить время на определение оптимальных параметров управляющих устройств, является использование вычислительной системы MATLAB и системы блочного моделирования Simulink, интегрированной в MATLAB. Переходные процессы в системе управления при этом формируются в имитационной модели системы управления. Модель системы управления строится в среде Simulink. При реализации имитационной модели в качестве результата получается одна точка в пространстве параметров управляющего устройства. Поэтому следующим этапом является построение плана вычислительных экспериментов на модели в области определения параметров. Формирование входных данных модели осуществляется на языке MATLAB. Далее осуществляется обработка результатов моделирования, т. е. обработка переходного процесса в MATLAB. Переходный процесс формируется как результат интегрирования системы дифференциальных уравнений имитационной модели с переменным шагом, поэтому количество точек переходного процесса для каждой точки из пространства значений входных параметров модели будет различным. Приведены графики переходных процессов в системе управления при оптимальных параметрах управляющего устройства и единичном изменении задающего воздействия. Предложенная организация взаимодействия MATLAB и Simulink может быть применена при имитационном моделировании как непрерывных, так и дискретных систем

Ключевые слова: системы управления, переходный процесс, имитационная модель, MATLAB, Simulink

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ОЦЕНИВАНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

С.В. Иванов, Н.Я. Половинчук, Е.В. Маркин, В.И. Тимофеев

Аннотация: одним из направлений совершенствования систем управления высокоманевренными беспилотными летательными аппаратами (БЛА) является формирование управления на конечном участке траектории. Однако точность таких алгоритмов в традиционно используемых системах управления снижается вследствие действия возмущений большого уровня, которые являются априорно неопределенными. Для повышения точности используется алгоритм обработки навигационных измерений на основе алгоритма обобщенного фильтра Калмана. В алгоритмах терминального управления, связанных с прогнозированием будущего движения, присутствуют итерационные процедуры, что при ограниченных возможностях бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ) не позволяет существенно увеличивать частоту замыкания контура обратной связи. Алгоритмы терминального управления движением БЛА позволяют учитывать конечные условия доставки летательного аппарата в конечную область пространства, но для расчета траекторий движения вдоль программной оптимальной траектории в условиях неопределенностей, связанных с противодействием средств противоборствующей стороны, необходимы алгоритмы управления, способные формировать управляющие воздействия для совершения маневров уклонения на всех этапах движения. Использование подхода, учитывающего формирование в контуре прогнозирования алгоритмов идентификации, позволяет компенсировать ограниченные вычислительные возможности бортовых ЭВМ и повысить точность приземления БЛА в заданную терминальную область. Проведено численное моделирование представленного алгоритма

Ключевые слова: БЛА, оптимальное управление движением, навигационная информация, оценивание
**ЧАСТИЧНО АВТОНОМНЫЙ РОБОТ-ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ
МУЛЬТИАГЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

А.Ю. Соловьев, М.А. Цуканов

Аннотация: рассматриваются задача надления робота-телеприсутствия функциями частичной автономности, сфера применения роботов-телеприсутствия, делается анализ текущих решений на рынке подобных роботов. Приводится классическая схема управления роботами-телеприсутствия, и на основе представленной схемы выделяются основные недостатки подобных решений, а именно - большая нагрузка на оператора в процессе управления роботом, а также сложность процесса обучения оператора. На основании выявленных недостатков предлагается решение, которое способно наделять роботов-телеприсутствия частичной автономностью. В качестве автономных функций рассматриваются распознавание человека, следование за человеком, обигание препятствий. Данные функции автономности были установлены как приоритетные, которые помогут избежать проблем при управлении роботами-телеприсутствия. Проанализирован рынок подобных решений, в ходе анализа было определено, что большинство решений не обладают даже частичной автономностью. Для реализации решения надления робота-телеприсутствия функциями автономности авторы предлагают использовать роботизированную платформу, которая была разработана на кафедре автоматизированных информационных систем управления Старооскольского технологического института. Приводятся структурная схема данного решения, также структура мультиагентной системы для решения задач по проведению мероприятий, требующих участия нескольких роботов-телеприсутствия

Ключевые слова: робот-телеприсутствия, функции частичной автономности, мультиагентная система

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ В МАТЛАВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОЗМУЩЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

А.П. Харченко, Ю.С. Слепокуров, Ю.Н. Каревская

Аннотация: дистанционное управление транспортным роботом требует передачи управляющего и приема управляемого сигналов в условиях внешних возмущений. Использование автоматической системы с модальным регулятором и наблюдателем в качестве следящего привода полагает реализацию модального регулятора и наблюдателя в задающем устройстве, дистанционно удаленного от транспортного робота. Дистанционная передача управляющих и управляемых информационных сигналов требует принятия мер по помехозащищенности каналов связи. Для математического описания следящей системы с модальным регулятором и наблюдателем применяется векторно-матричное уравнение, которое удобно получить из структурной схемы с доступом к переменным состояния управляемого вектора состояния X . Представлены векторно-матричные уравнения следящих систем с модальным регулятором, наблюдателем и фильтром Калмана при учете воздействия возмущения. При исследовании влияния возмущения в цепи обратной отрицательной связи используются одно- и многоконтурные структурные схемы следящей системы с одним и тем же двигателем, системой управления и датчиком обратной связи по положению. Фильтрация возмущения в каналах передачи информации в пространстве состояния осуществляется фильтром Калмана. Фильтр Калмана осуществляет процедуру рекурсивного оценивания, когда подлежащий оцениванию сигнал является входным сигналом нестационарной динамической системы. Проведено сравнение полученных коэффициентов модального регулятора структурных схем следящей системы, вида полученных переходных характеристик, передаточных функций наблюдателей и фильтра Калмана и степени восстановления фильтром Калмана информационного сигнала. Представлены выводы по исследованиям систем

Ключевые слова: транспортный робот, следящая система, векторно-матричное уравнение, структурная схема, модальный регулятор, наблюдатель, фильтр Калмана, переходная характеристика

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ - ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО - СРЕДА»

В.Л. Бурковский, Д.А. Андриков, Ю.А. Халин, Е.А. Титенко, А.Г. Курочкин

Аннотация: рассматривается решение задачи управления транспортным средством в условиях торможения. Классический подход основан на понимании водителя как субъекта управления, а транспортного средства как объекта управления. Это известный механико-детерминистский подход с однозначным предсказанием движения транспортного средства и целевой реакции водителя. Система управления является инструментом, который дает детерминированные оценки и формирует прогноз. Интеллектуализация информационно-вычислительных процессов в транспортном средстве связывается с анализом состояния метасистемы «Водитель – Транспортное средство – Среда». Показано, что в такой метасистеме взаимодействие элементов можно формализовать с помощью теории конфликта. Это означает, что объектом рассмотрения являются открытые системы. В отличие от замкнутых систем, стремящихся к сохранению энергии покоя, открытые системы с несколькими активными объектами (игроками) образуют различные коалиции. Коалиция стремится подчинить себе «проигравшие» элементы метасистемы и обеспечить далее экстремум коалиционной функции. Рассматривается коалиция «Водитель – Транспортное средство». Для обеспечения такого подхода в качестве математической основы управления движением выбрана оценка устойчивости колебательных процессов. Для работы выбрана форма алгебраического критерия в виде критерия Гурвица. Этот критерий может быть применен для определения устойчивости как разомкнутых, так и замкнутых систем. Матрица и критерий Гурвица используют идею

расслоения коэффициентов для понижения степени решаемых уравнений. Расслоение осуществляется по четным и нечетным позициям с переменной длиной ряда коэффициентов. Такая двумерная комбинация коэффициентов позволяет сохранить корректность результата и упростить процесс решения. Следовательно, вычисления критерия Гурвица являются аппаратно-ориентированными и обеспечивают уменьшение времени. Получены условия устойчивости по Гурвицу, необходимые для управления метасистемой «Водитель - Транспортное средство - Среда»

Ключевые слова: система управления движением, транспортное средство, устойчивость, критерий Гурвица, характеристическое уравнение

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ БИБЛИОТЕКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ЯЗЫКЕ JAVA

В.Ф. Барабанов, Н.И. Гребенникова, Д.С. Галамага, С.Л. Кенин

Аннотация: дано общее описание технологии разработки крупных проектов, показано значение прототипирования в целях минимизации потерь при использовании библиотек. Сокращение времени разработки прототипа и удешевление процесса разработки происходит с сохранением возможности доработки и замены любой составляющей без вмешательства в остальные части продукта без ограничения имеющегося функционала. Разработанная библиотека предназначена для написания серверного приложения с любыми требованиями в максимально короткие сроки. Рассмотрен состав библиотеки, представляющей собой набор сервисов и утилит, позволяющих организовать распределенную нагрузку, работу с файлами и базами данных, организовать взаимодействие различных частей приложения, мониторинг и логирование работы приложения, сериализацию и десериализацию объектов. Приведен пример работы с данной библиотекой, с этой целью создано серверное приложение, приведен алгоритм его работы. Структура разработанного серверного приложения позволяет использовать функции логирования и серверных метрик на всех этапах всеми функциональными частями. Приведены условия работы программы, порядок установки и настройки программного продукта, предложен конфигурационный файл, содержащий необходимые настройки. Рассмотрены последовательность и порядок настройки позволяют наиболее полно воспользоваться предлагаемыми возможностями библиотеки классов

Ключевые слова: разработка библиотеки классов, серверное приложение, мониторинг, логирование

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ХРАНЕНИИ КРИОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

М.В. Богданова

Аннотация: рассматривается построение интеллектуальной информационной системы распространения тепла в цилиндрической емкости, частично заполненной криогенной жидкостью. Сосуд подвергается внешнему тепловому воздействию. В результате конвективных процессов и процессов теплопереноса возникают значительные градиенты температуры и давления, которые могут привести к нарушению условий хранения криогенных жидкостей. Рост давления исследуется с помощью нечеткой составляющей, что в свою очередь позволяет уменьшить внешнее тепловое воздействие. Рассматриваются уравнения Навье-Стокса. Делается переход от трехмерной задачи к последовательности двумерных задач. После определения теплового поля и поля течений с помощью нечеткой математики определяется давление, возникающее внутри сосуда. В работе происходит совмещение вычислительной физики и нечеткой логики. С опорой на симбиоз указанных наук выполняется задача управления отдельно взятой интеллектуальной системы. Основным методом решения является метод конечных разностей, который позволяет определить состояние как жидкости, так и газообразной среды в каждой фиксированной точке в каждый фиксированный момент времени. Решение подобных задач будет полезно во многих областях науки и техники. Среди них можно выделить технические области безопасного хранения криогенных жидкостей

Ключевые слова: нечеткая интеллектуальная система, уравнения Навье-Стокса, криогенная жидкость, конвекция, процессы теплопереноса, двумерная задача, процесс фазификации и дефазификации, алгоритм Мамдани

Энергетика

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПШЕНИЧНЫХ ЗАРОДЫШЕЙ

О.А. Орловцева, В.В. Портнов, Л.И. Назина, Н.Л. Клейменова

Аннотация: работа посвящена определению оптимальных режимов теплоносителя для стабилизации качества зародышей пшеницы при хранении. Выбор исследуемого продукта обусловлен ценным биохимическим составом и широтой его применения. Источником горячего и холодного потоков выбрана вихревая труба, работа которой основана на эффекте Ранка-Хилша. Для определения значений параметров пшеничных зародышей, которые позволят обеспечить неизменность качества продукта при хранении, применили ортогональное композиционное планирование. В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс стабилизации пшеничных зародышей под влиянием нагрева, введения ингибитора и охлаждения. В результате решения задачи оптимизации были получены значения оптимальных режимов исследуемых факторов: температура нагретых пшеничных зародышей 57 °С, концентрация аскорбиновой кислоты 9,5 %, значение температуры охлажденного продукта 4°С. На основании полученных данных установлены значения горячего и холодного потоков, необходимые для управления качеством продукта. Проанализированы методики расчета параметров вихревой трубы

Ключевые слова: вихревая труба, теплоноситель, планирование, оптимизация, пшеничные зародыши, управление качеством

Радиотехника и связь

СИСТЕМА АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ OFDM-ТИПА НА БАЗЕ КОДА LDPC С ПЕРЕМЕЖЕНИЕМ В ТУРБУЛЕНТНОМ КАНАЛЕ

Р.П. Краснов

Аннотация: приведена модель системы атмосферной оптической связи, в которой входные данные кодируются LDPC-кодером с перемежением и преобразуются в выходной цифровой поток. В качестве метода модуляции предложено использовать OFDM. В приемном устройстве для оптоэлектрического преобразования использован массив фотоприемников, сигналы на выходе которого объединяются по методу максимального правдоподобия, последовательно проходя далее через операции обратного преобразования частоты, OFDM-демодуляции, LDPC-декодирования и деперемежения. Для указанной модели получены зависимости величины битовой ошибки от отношения сигнал-шум в системе атмосферной оптической связи с OFDM-модуляцией на 64 поднесущих в случае малой и сильной турбулентности в канале связи, а также зависимости средней длительности замираний от величины порогового тока. Показано, что при наличии резервного радиоканала на его базе возможна организация обратной связи. Приведен метод определения размеров блока перемежения на основе расчета средней длительности замираний в канале

Ключевые слова: атмосферные оптические линии связи (АОЛС), лазер, код LDPC, модуляция OFDM

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НЕЭКВИДИСТАНТНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

И.А. Кирпичева, А.В. Останков

Аннотация: разработка антенных решеток с заданными или специальными характеристиками направленности требует использования алгоритмов параметрического синтеза. Несмотря на критику, отдельные разновидности эволюционных алгоритмов (в частности, генетические алгоритмы) могут успешно применяться для решения задач оптимизации и синтеза антенной техники. Анализ источников показывает, что отечественная практика использования генетических алгоритмов для синтеза антенн является преимущественно эпизодической. Демонстрируется целесообразность и результативность применения генетического алгоритма для синтеза апертуры линейных антенных решеток. Приведены примеры подобного синтеза на основе известной модификации генетического алгоритма. Выполнена оптимизация направленных свойств неэквидистантных разреженных равноамплитудных антенных решеток. Поиск оптимальных межэлементных расстояний по критерию максимума коэффициента направленного действия (в поперечном направлении излучения) приводит к симметричной относительно центра геометрии. Особенность такой решетки заключается в свободной от элементов центральной части, элементы которой смещены к периферии решетки и выстроены там почти периодически с шагом от 0.8 до 0.9 длины волны. Далее излагается постановка задачи синтеза линейной равноамплитудной неэквидистантной антенной решетки. Критерий синтеза заключается в минимизации уровня боковых лепестков диаграммы направленности в режиме поперечного излучения. Приведены основные математические соотношения, описана целевая функция и ограничения, накладываемые на расстояния между элементами решетки. Изложены частные

результаты синтеза решеток с разным числом элементов (от 4 до 20) и заданным коэффициентом разреженности 0.5, определяемым отношением периода решетки к длине волны при эквидистантном размещении элементов. Анализ результатов показывает, что выигрыш по уровню боковых лепестков оптимальной решетки по отношению к периодической решетке составляет 6.74 дБ для десяти и 10.5 дБ для двадцати элементов. Результаты могут быть использованы при разработке соответствующих антенных систем, а также для потенциальной оценки направленных свойств равноамплитудных антенных решеток

Ключевые слова: неэквидистантная антенная решетка, синтез, генетический алгоритм, уровень боковых лепестков

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

Н.В. Ципина, С.С. Потапов, И.В. Чепрасов

Аннотация: при проектировании современных радиоэлектронных устройств возникает необходимость в соблюдении температурного режима для функционирования силовых элементов аппаратуры. Чаще всего задачу можно решить установкой радиатора. Сложность заключается в выборе его размеров, формы и материала, из какого он будет изготовлен. Для того, чтобы определить все эти характеристики, конструкторы прибегают к аналитическим расчетным методам, которые страдают своей точностью и затратами времени на проектировку. В данной статье рассматривается конструкция биметаллического (медь—алюминий) паяного радиатора, эффективно охлаждающего элементы электронного модуля с высокой неравномерностью тепловых потоков. Приведены характеристики радиатора и метод построения начальной (неоптимизированной) модели с учетом требуемых ограничений. С помощью современных средств автоматизированного проектирования было произведено исследование, на основе результатов которого осуществлена дальнейшая оптимизация конструкции. Оптимизация производилась в два этапа. Первый этап состоял в поиске оптимальной геометрии конструкции радиатора, где в роли переменных выступали толщины и высоты ребер и планок. Второй этап заключался в постепенной замене материала элементов с меди на алюминиевый сплав. Описано влияние изменения того или иного параметра конструкции. Приведены графики и таблицы результатов, на основе которых можно сделать выводы о значимости конкретного параметра на распределение тепловых потоков. Описаны все сложности, с которыми авторы столкнулись в ходе оптимизации конструкции радиатора в среде моделирования, и способы их решения. Основными задачами, решаемыми с помощью разработанного алгоритма оптимизации, являются повышение точности, снижение трудоемкости и продолжительности поиска оптимальной конструкции, исключение влияния «человеческого» фактора

Ключевые слова: биметаллический радиатор, термическое исследование, оптимизация, система охлаждения Solidworks Simulation

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

А.А. Пирогов, А.Б. Буслаев, А.С. Костюков

Аннотация: в последние годы появляются новые технологии проектирования электронной аппаратуры, основанные на интегрированных системах автоматизированного проектирования и программируемых логических интегральных схемах. Данная работа затрагивает вопросы переноса структур интегральных схем с фиксированным функционалом на базу интегральных схем с изменяемым функционированием. Данные схемы, к которым относятся программируемые логические интегральные схемы с изменяемыми (программируемыми) структурами, являются наиболее перспективными на данный момент, отличаются высокой степенью универсальности, низкой стоимостью разработки и малым временем проектирования. Программируемые логические интегральные схемы применяются для построения реконфигурируемых систем в задачах логической эмуляции. Эффективность схем с программируемой структурой стимулирует быстрый рост соответствующей отрасли промышленности и объемов их производства, а также научных исследований по развитию их архитектур, схемотехники и алгоритмов решения практических задач. В работе были выполнены моделирование и анализ полученной структуры арифметико-логического устройства. Арифметико-логические устройства – это специализированные микросхемы, выполняющие в соответствии с программой на служебных входах арифметические или логические преобразования

двоичной информации. В микропроцессорной технике арифметико-логические устройства являются базовыми элементами, они используются в сочетании с регистрами памяти и сдвига, оперативными запоминающими устройствами и другими цифровыми узлами

Ключевые слова: арифметико-логическое устройство, программируемая логическая интегральная схема, проектирование, верификация, моделирование

ФРОНТАЛЬНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДОМАШНЕГО КИНОТЕАТРА

А.С. Бадаев

Аннотация: представлены методики расчета акустических оформлений типа «акустическая трансмиссионная линия (акустический лабиринт)» и «полосовой резонатор (Bandpass)». Показано, что оптимальной длиной лабиринта с точки зрения уровня звукового давления, КПД, излучаемой акустической мощности и минимальных искажений является четверть звуковой волны, излучаемой головкой громкоговорителя (ГГ) на частоте своего основного резонанса, а его площадь поперечного сечения равна эффективной площади диффузора ГГ. При этом входное сопротивление лабиринта максимально и имеет чисто активный характер, его поведение подобно параллельному электрическому контуру, настроенному в резонанс. На частоте этого резонанса труба лабиринта интенсивно излучает звуковую энергию в окружающее пространство, а амплитуда колебаний диффузора ГГ минимальна, вследствие чего резко снижаются искажения. Предложенный метод расчета полосового резонатора (ПР) четвертого порядка, использованного в качестве акустического оформления сабвуфера акустических систем (АС), основан на представлении ПР как ГГ, установленной в закрытом корпусе (задняя камера) и нагруженной на корпус с фазоинвертором (передняя камера). Учет влияния упругости воздуха в задней камере на параметры ГГ и их выбор позволили рассчитать ПР с высоким звуковым давлением и КПД не в ущерб переходным характеристикам. На основе предложенных методик были разработаны АС для домашнего кинотеатра, особенностью которых является использование двух конструктивно связанных в одном корпусе блоков, непосредственно АС и активного сабвуфера, выполненных на основе разных оформлений - лабиринта и полосового резонатора. Представлены технические параметры и характеристики разработанных АС. Анализ результатов измерений показывает правильность расчета АС, отмечены высокий уровень звукового давления и хорошее качество звучания разработанных АС

Ключевые слова: системы домашнего кинотеатра, акустические системы, акустическая трансмиссионная линия, акустический лабиринт, полосовой резонатор (Bandpass), головки громкоговорителей

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ПО КРИТЕРИЯМ ВНУТРИАППАРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

В.В. Глотов, М.А. Ромащенко

Аннотация: обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) в различных электронных средствах относится к одной из наиболее актуальных тем на сегодняшний день по причинам увеличения общего количества электронных средств и их миниатюризации. В радиотехнике широко распространен тип оптимизационных задач для рационального перераспределения. Для таких задач необходимо наличие трех элементов: цель, ограничения и переменные параметры. Задачи оптимизации, как правило, решаются на двух иерархических уровнях. По мере того, как задачи оптимизации распространялись в различных научных направлениях, разрабатывались соответствующие математические методы. Простейшим и самым ранним является метод дифференцирования целевой функции, полученной с учетом ограничений, и приравнивание производной к нулю. Этот метод оптимизации наиболее распространен в радиотехнике и, в частности, в задачах оптимизации с использованием критериев ЭМС. В более сложных задачах используются методы множителей Лагранжа, методы динамического, линейного, квадратичного, выпуклого, геометрического программирования, максимального метода. Однако выбор чаще всего осуществляется субъективно и не всегда наилучшим образом. Анализ обеспечения электромагнитной совместимости в различных электронных устройствах показал, что при разработке любого электронного инструмента наибольшее внимание следует уделять проектированию печатных плат. Поэтому разработчик может заранее определить проблемные области печатной платы на ранних стадиях. Это позволит инженеру сократить время производства электронного оборудования и снизить затраты на создание этого продукта

Ключевые слова: проектирование радиоэлектронных средств, помехозащищенность, помехоустойчивость, электромагнитная совместимость, методы проектирования, оптимизация

БЫСТРЫЙ ЦИФРОВОЙ АЛГОРИТМ ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ С КВАДРАТУРНОЙ АМПЛИТУДНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

В.П. Литвиненко, Е.А. Бокова, А.О. Апалихин, С.В. Шкильня

Аннотация: рассматривается аппаратная реализация и применение быстрого цифрового алгоритма демодуляции сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией (КАМ) на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Он требует формирования аналого-цифровым преобразователем по четыре отсчета на период центральной частоты с последующим их накоплением в квадратурных каналах на интервале длительности информационного символа. Приведено описание алгоритма обработки отсчетов сигнала, рассмотрена его структурная схема. На основе быстрого цифрового алгоритма когерентной обработки узкополосных сигналов предложен простой цифровой демодулятор сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией, допускающий эффективную реализацию на современных программируемых логических интегральных схемах. На исследуемый демодулятор получен патент РФ. Для его реализации на ПЛИС на языке VHDL разработано описание алгоритма демодуляции, проведен синтез HDL-кода и моделирование в пакете прикладных программ при фиксированных параметрах сигнала. Проводится сравнение разнообразных серий современных ПЛИС фирмы ALTERA для различных параметров обрабатываемого сигнала. Приводится выражение для расчета вероятности ошибки демодуляции, показано, что предлагаемый демодулятор обеспечивает потенциальную помехоустойчивость. 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: квадратурно-амплитудная манипуляция, цифровая демодуляция, ПЛИС, VHDL, Verilog, MATLAB

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛИ, ИМИТИРУЮЩЕЙ ПОМЕХИ ПРИЕМА ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

А.Л. Неклюдов, А.А. Пирогов, Н.В. Ципина, И.С. Бобылкин

Аннотация: в современном мире при приеме сигналов, несущих полезную информацию, в совокупности с главным сигналом одновременно фиксируются помехи самого разнообразного происхождения. К таким относят искажения полезных сигналов при влиянии различных возмущающих воздействий. Выделение полезной информационной составляющей из общего спектра детектированных сигналов, а также максимально эффективное подавление шумов и помех в рассматриваемом сигнале при сохранении его целостности являются одними из основных задач первичной обработки принимаемых сигналов. Представлены разработка и анализ модели, имитирующей помехи приема фазоманипулированных (ФМС) сигналов, необходимых для расчета электромагнитной совместимости радиоэлектронных устройств (ЭМС РЭС) и позволяющих оценить вероятность сбоя в тракте приема передачи информации при влиянии на него простых и сложных помех, двух- и четырехпозиционных фазоманипулированных сигналов с различными формами элементарной посылки, а также других сигналов с учетом искажающего воздействия. Рассмотрена структурная схема модели системы связи с имитацией помех приема ФМС, представлены графики сигналов с бинарной частотной и линейно-частотной манипуляцией. В разработанной модели манипулятора помех предусматривается возможность формирования импульсов с заданной скважностью и внутримпульсной манипуляцией любым из доступных видов сигналов, а также может задаваться различный фронт импульса или быть сглаженным синусоидальным сигналом

Ключевые слова: электромагнитная совместимость РЭС, моделирование помех, фазоманипулированные сигналы, вероятность сбоя РЭС

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ 2G-4G СЕТЕЙ

О.В. Бойко, Д.В. Журавлев, И.А. Сафонов

Аннотация: в современном мире системы подвижной сотовой радиосвязи развиваются бурными темпами и за свой 20-летний прогресс плотно вошли в жизнь человечества, охватив все сферы его деятельности. Система связи общего пользования стандарта GSM позволяет решать широчайший спектр задач, давно покинув пределы обычного голосового общения. Примером того может послужить дистанционное управление различными устройствами или же, например, мобильная система видеонаблюдения за объектом, GSM-«жучки» для определения его местонахождения. Вследствие постоянного расширения возможностей системы сотовой связи GSM возникает проблема рационального использования радиочастотного спектра. Особенности используемых при передаче данных стандартов 2G–4G в данной системе сотовой подвижной радиосвязи вызывают необходимость постоянной оценки качества связи в сотах. Для решения этих проблем необходима специально разработанная под требуемые задачи система мониторинга. Такие системы являются достаточно сложными техническими устройствами, в то же время отличающимися своей дороговизной. Сравнительно молодая технология SDR позволяет успешно решить требуемые задачи и организовать доступную систему мониторинга 2G–4G сетей. Кратко рассмотрено применение предложенного решения на примере анализа диапазона систем сотовой подвижной радиосвязи GSM-900, показан наиболее точный с технической стороны метод оценки важных параметров

Ключевые слова: программно-определяемое радио, система мониторинга, 2G-4G сети

Машиностроение и машиноведение

УПРАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ УЗЛОВ РОБОТА В ПРОЦЕССЕ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

А.Н. Гречухин, В.В. Куц, М.С. Разумов

Аннотация: статья посвящена изучению вопросов точности формирования поверхностного слоя изделий машиностроения аддитивными методами. Проведен анализ преимуществ и недостатков технологий послойного синтеза изделий. Выявлено, что при аддитивном формообразовании, точностные характеристики поверхностного слоя существенно отличаются от точностных характеристик поверхностного слоя изделий, полученных традиционными методами. Формообразование поверхностей деталей сложного профиля аддитивными методами характеризуется высокими значениями величины статической составляющей погрешности обработки - погрешности формообразования (аппроксимации). Проведен анализ отечественных и зарубежных трудов по теме исследований. Предложено для повышения точностных характеристик сложных поверхностей изделий, получаемых аддитивными методами, осуществлять динамическую пространственную ориентацию конечного элемента формообразующей системы аддитивного оборудования. Для управления пространственной ориентацией конечного элемента формообразующей системы предложено применение мехатронных 6-координатных устройств. Разработана методика расчета управляемых параметров 6-координатного робота, при которых будет обеспечена пространственная ориентация конечного элемента формообразующей системы по нормали в точке номинальной поверхности формообразуемой детали. Рассмотрена многовариантность значений управляемых параметров 6-координатного робота при переходе конечного элемента формообразующей системы из предыдущей точки в последующую. Предложено условие для выбора рационального варианта перехода. Произведен расчет управляемых параметров 6-координатного робота при формообразовании сферической поверхности аддитивными методами. Предлагаемая методика позволит осуществить динамическую пространственную ориентацию конечного элемента формообразующей системы аддитивного оборудования, что позволит снизить шероховатость сложнопрофильных поверхностей деталей при их формообразовании аддитивными методами

Ключевые слова: аддитивные технологии, послойный синтез, формообразование, погрешность

ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА ТИТАНОВЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ТАВРОВЫМ СОЕДИНЕНИЕМ

В.В. Пешков, А.Б. Булков, И.Б. Корчагин, С.М. Ларсов

Аннотация: эффективным способом снижения массы изделий авиационной техники является применение тонкостенных слоистых конструкций с сотовым наполнителем. Целью данной работы является установление влияния соотношения толщин в тавровом соединении элементов наполнителя и обшивок на развитие процесса диффузионной сварки. Экспериментальные исследования проводили на трубчатых образцах с толщиной стенки

0,5 мм из сплава ОТ4 с крупнозернистой структурой, имитирующих одну ячейку сотового заполнителя, к торцу которых приваривали диффузионной сваркой пластины толщиной от 0,5 до 2 мм из листового сплава ОТ4-1, имевшего в исходном состоянии глобулярную микроструктуру. После сварки проводили механические испытания диффузионного соединения на прочность и снимали с поверхности обшивки профилограммы, по которым определяли глубину вдавливания трубчатого образца. Установлено, что образование диффузионного соединения и его прочность обусловлены развитием процесса деформации свариваемых заготовок в зоне контакта. При толщине обшивок менее 1,5 мм процесс ее деформации затруднен вследствие контактного упрочнения, возникающего из-за трения о стальной технологический лист. Величина упрочнения зависит от соотношения толщин и численно характеризуется коэффициентом упрочнения

Ключевые слова: диффузионная сварка, тавровое соединение, деформация, контактное упрочнение

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

О.И. Попова, М.И. Попова, Л.С. Печенкина

Аннотация: рассмотрены пути повышения стойкости червячных фрез. Основными путями повышения износостойкости зуборезного инструмента являются создание новых конструкций высокопроизводительных червячных фрез, а также применение в конструкциях инструмента улучшенных самокаливающихся комплексно-легированных сплавов. Предложено два пути повышения стойкости червячных фрез. Первый путь - это создание новых конструкций высокопроизводительных червячных фрез, второй – оптимальный выбор марки сплава для инструмента. В предлагаемой конструкции червячной фрезы благодаря уменьшению рабочей высоты зуба для первого, второго и третьего проходов сокращается длина основания каждого зуба, что дает возможность, не уменьшая прочности зуба, уменьшить угловой шаг зубьев в торцевом сечении и образовать на том же внешнем диаметре червячной фрезы большее количество реек. Увеличение количества реек дает большее количество профилирующих резцов, что позволяет уменьшить неравномерность нарезания и динамические нагрузки. Новая конструкция фрезы позволяет значительно снизить интенсивность износа зубьев инструмента, что приводит к увеличению стойкости инструмента. Требованиям ко второму пути могут удовлетворять самокаливающиеся комплексно-легированные сплавы на основе железа, сочетающие высокую прокаливаемость с принципом композиционного упрочнения

Ключевые слова: червячная фреза новой конструкции, стойкость, комплексно-легированные сплавы

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

О.В. Скрыгин, А.В. Мандрыкин, В.П. Смоленцев

Аннотация: обоснована технико-экономическая целесообразность выбора технологических вариантов изготовления продукции и внедрения результатов научно-исследовательских работ, требующих минимальных затрат для получения качественных изделий. Для объективной оценки правомерности выбора процесса предложены критерии, учитывающие затраты на этапах жизненного цикла изделий с учетом индивидуальных возможностей предприятий - изготовителей, запросов заказчиков и разработчиков перспективной продукции. Первая группа критериев направлена на проектирование технологического процесса, обеспечивающего получение эксплуатационных требований к детали, вторая группа характеризует экономическую эффективность применения, например, электрических методов обработки, где должны учитываться такие показатели, как износ инструмента при электроэрозионной обработке и массовый износ при электрохимическом процессе, которые должны рассматриваться с учетом возможностей применяемого оборудования. При разработке управляющей программы и технологических режимов электрических методов обработки эти критерии составляют общую структуру и отвечают экономическим критериям. Целью реализации проектируемых технологий и управляющих программ для электрических методов обработки является изготовление изделий, удовлетворяющих заданным эксплуатационным показателям качества при минимизации приведенных затрат. Приведены примеры разработки эффективных управляющих программ для электрических методов обработки, технико-экономические результаты, полученные за счет замены механической обработки на комбинированную электроэрозионно-химическую при изготовлении центрального отверстия в деталях

Ключевые слова: обоснование, методы обработки, эффективность, ограничения, примеры использования

Физика

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ НА КАФЕДРЕ ОБЩЕЙ ХИМИИ ВГТУ (ОБЗОР)

Б.А. Спиридонов

Аннотация: приведены сведения об образовании кафедры химии в ВГТУ и развитии научно-исследовательской работы за период с 1968 по 2017 гг. Наиболее заметный вклад в становлении кафедры химии внесла профессор А.И. Фаличева. Под ее руководством было выполнено и успешно защищено 14 кандидатских диссертаций. Основными научными направлениями являлись электрохимия, гальваностегия, коррозия и защита металлов. Установление взаимосвязи электрохимических параметров восстановления ионов хрома (III), хрома (VI) и алюминия (III) со спектральными характеристиками растворов стало современным направлением в науке, что позволило сформулировать теоретические основы разработки новых электролитов. Успешно были решены и другие актуальные проблемы, связанные с разработкой электролитов и технологий при получении гальванических покрытий – цинковых, алюминиевых, сплавами хром-кобальт, хром-никель, никель-бор, никель-индий, олово-никель и др. На основании проведенных исследований в статье представлены данные по решению различных практически важных задач, например, рафинированию золота методом электролиза с применением реверсивного импульсного тока, анодированию алюминия для получения нанопористого оксида алюминия. В 2010 г. кафедру химии возглавил д-р техн. наук, профессор В.А. Небольсин. Под его руководством были продолжены и развиты исследования по анодированию алюминия и титана для получения нанопористых оксидных пленок, которые использовали в качестве матриц, в порах которых выращивали углеродные нанотрубки (УНТ) и нитевидные нанокристаллы (ННК) кремния и $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$. Было установлено, что УНТ на матрице пористого оксида алюминия могут быть использованы как сорбенты различных газов (водорода, аммиака и др.). Установлена принципиальная возможность выращивания упорядоченных систем ННК кремния и $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ с использованием маскирующей матрицы из нанопористого диоксида титана и частиц никеля в качестве катализатора процесса роста

Ключевые слова: электролит, электролиз, гальванопокрытия, анодирование, алюминий, титан

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ КЛЕЕВОГО ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО Т-107

А.М. Кудрин, К.С. Габриельс

Аннотация: в рамках комплексных исследовательских испытаний технологического материала, адаптированного для процессов автоматизированной выкладки, на основе углеродного волокна Formosa 12K и клеевого эпоксидного связующего Т-107, было проведено моделирование долговременной механической нагрузки на материал – испытания на усталость. Исследования показали, что качественное прогнозирование остаточных свойств ПКМ определяется испытаниями на прочность после ударного воздействия и циклическими схемами нагружения. Проведенные циклические физико-механические испытания в соответствии со стандартами ASTM D 5766 и D 7615 позволили определить величину максимальной нагрузки (механического сопротивления материала с концентратором напряжений) на уровне 50,62 кН, а также симитировать реальные условия эксплуатации. Определен характер разрушения материала - LGM (lateral-gage-middle) – разрушение ПКМ по всей толщине образца непосредственно в области сквозного отверстия с присутствием незначительных расслоений в рабочей зоне в направлениях $\pm 45^\circ$ от центра отверстия. Схожий характер разрушения, но с гораздо более серьезными последствиями наблюдался при циклическом нагружении образцов ПКМ с амплитудным диапазоном от 10 % до 70 % от нагрузки разрушения. Образцы с диапазонами нагружения 20-60 % и 15-65 % выдержали 10^6 циклов усталостных испытаний без видимой деформации, показав остаточную прочность на уровне 90 % от первоначального значения

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, углепластик, ПКМ, испытания на усталость, растяжение с отверстием, циклические испытания

СТРУКТУРА ТОНКИХ ПЛЕНОК ШИРОКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ In_2O_3 , ZnO , МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДОМ

О.В. Жилова, В.А. Макагонов, С.Ю. Панков

Аннотация: методом ионно-лучевого распыления были синтезированы тонкопленочные наноструктуры ZnO-C и In₂O₃-C, а также тонкие пленки ZnO, In₂O₃ и C. Рентгеноструктурный анализ полученных образцов показал, что тонкие пленки ZnO и In₂O₃, полученные методом ионно-лучевого распыления оксидных мишеней, характеризуются нанокристаллической структурой с гексагональной кристаллической решеткой для ZnO (пространственная группа P63mc) и кубической для In₂O₃ (пространственная группа Ia-3). Тонкие пленки чистого углерода в исходном состоянии являются аморфными. Тонкие пленки ZnO-C и In₂O₃-C характеризуются гетерогенной структурой, в которой нанокристаллики оксидного полупроводника расположены в матрице аморфного углерода. Термическая обработка пленок ZnO, In₂O₃, ZnO-C и In₂O₃-C при температурах до 873 К приводит к росту размера кристаллов оксидного полупроводника, однако в пленках ZnO-C и In₂O₃-C рост кристаллитов выражен заметно слабее, что свидетельствует о более высокой стабильности наноструктурного состояния пленок In₂O₃, ZnO, модифицированных углеродом. В пленках ZnO-C и In₂O₃-C выявлено наличие некоторого избыточного по величине дифракционного фона, которое можно связать со средним расстоянием между кристаллитами оксидного полупроводника

Ключевые слова: широкозонные полупроводники, тонкие пленки, оксид индия, оксид цинка, ионно-лучевое напыление, термическая обработка, рентгеноструктурный анализ

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРУ ПЛЕНОК ОКСИДА ТИТАНА

В.А. Небольсин, Б.А. Спиридонов, В.А. Юрьев, Н. Свайкат, А.В. Макарова

Аннотация: для получения функциональных материалов с различными свойствами используется электрохимическое модифицирование поверхности металлов. Тонкие оксидные пленки получались с помощью потенциодинамического метода. Изучена кинетика электрохимического анодирования титана марки ВТ 6. Установлено, что при анодном окислении титана в этиленгликолевом электролите в присутствии NH₄F формируется нанопористая структура оксида титана с диаметром пор 50-70 нм. В кислом электролите, содержащем HF, образуются нанопоры диаметром 100-110 нм, что связано с более высокой скоростью растворения оксида титана в сравнении со скоростью его образования. Более толстые пленки (> 5 мкм) были получены из электролитов с контролируемым pH. Показано, что на начальных стадиях анодирования при длительности электролиза 1-2 мин. внешний вид поверхности анодированного титана заметно отличается от оксида, формируемого при длительности электролиза более 4 мин. По данным рентгеновской и электронной дифракции следует, что на ранних стадиях электролиза на поверхности титана образуется кристаллическая фаза оксида Ti₆O, а с увеличением времени анодирования наблюдается диффузное гало, что означает переход в аморфную фазу TiO₂

Ключевые слова: анодирование титана, электролиз, оксид титана, нанопоры