

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИСОЕДИНЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ  
МАНИПУЛЯТОРА С ВРАЩАЮЩИМИСЯ ЗВЕНЬЯМИ НА ОСНОВЕ  
ГЕНЕТИЧЕСКИХ  
АЛГОРИТМОВ**

**С.Н. Медведев, А.Ю. Яковлев, О.Г. Корольков**

**Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия**

**Аннотация:** рассматривается проблема выбора оптимального или близкого к оптимальному положения четырехзвенного манипулятора на плоскости. Вначале обратная задача кинематики формулируется в виде задачи нелинейной оптимизации. Отдельное внимание в математической модели уделено целевой функции. Далее для решения поставленной задачи предлагается генетический алгоритм выбора оптимального положения четырехзвенного манипулятора на плоскости. В соответствии с логикой генетических алгоритмов разработаны оригинальные операторы скрещивания и мутации. Каждый из них основывается на решении геометрической задачи пересечения двух окружностей. Предложенные операторы рассматриваются для представления особи в виде набора координат вершин манипулятора, однако также даны указания по созданию подобных операторов для представления особи в виде набора углов. Для апробации алгоритма был разработан программный комплекс, а также сконструирован мини-манипулятор. Программный комплекс включает в себя программную реализацию для настройки параметров алгоритма на стационарном компьютере и реализацию для микроконтроллера с управлением сервоприводами реального мини-манипулятора. Представлены результаты вычислительного эксперимента по настройке параметров, а также показана работа алгоритма на микроконтроллере с выводом результатов на дисплей. Показано построение оптимального решения на мини-манипуляторе. Сделаны выводы по работе, а также указаны возможные дальнейшие исследования в данной области

**Ключевые слова:** обратная задача кинематики, представление Денавита – Хартенберга, генетический алгоритм, скрещивание, мутация, манипулятор, вычислительный эксперимент, управление, мехатронные устройства

# РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ, ДИАГНОСТИКИ И ВЫБОРА ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

К.О. Левенков, Е.Н. Коровин

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

**Аннотация:** представлен процесс проектирования автоматизированной медицинской информационной системы оценки состояния, диагностики и выбора тактики лечения больных с патологией мочеполовой системы на основе статистического, имитационного и нейросетевого моделирования. В качестве входной информации для построения математических моделей оценки состояния и подбора терапии были изучены и выбраны необходимые данные из 150 историй болезни пациентов, страдающих патологиями мочевыделительной системы. Для оценки значимости клинических признаков использовались корреляционный анализ и метод априорного ранжирования мнения экспертов. Оценка состояния пациентов с патологией выделительной системы осуществлялась с помощью построения «дерева решений» и статистического моделирования. Выбор схемы лечения пациентов с хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью осуществлялся с помощью нейросетевых моделей, дискриминантных функций. Проведен кластерный анализ данных по выбору терапии. Представленная в статье сеть Петри позволяет отслеживать состояние процесса диагностики и разрабатывать схемы лечения с помощью имитации. Полученные нейросетевые модели, дискриминантные функции, статистические модели и результаты анализов, сеть Петри, а также модуль цифровой обработки результатов ультразвуковой доплерографии используются в автоматизированной медицинской информационной системе, которая способствует повышению эффективности процессов диагностики и оценки состояния пациентов. Также медицинская информационная система позволяет повысить качество и сократить время выбора схемы лечения пациентов с патологией мочеполовой системы

**Ключевые слова:** нейросетевое моделирование, хронический пиелонефрит, мочекаменная болезнь, дискриминантные функции, сеть Петри, ультразвуковая доплерография, модуль, имитационное моделирование

# МЕТОД СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

**М.Н. Краснянский, В.Г. Матвейкин, С.Ю. Алексеев, А.Ю. Захаров**

**Аннотация:** обучение навыкам использования дыхательных аппаратов и дыхания в них осуществляется с помощью специализированных тренажеров. Основным их элементом является модель дыхательного аппарата. Сейчас в качестве моделей используются регенеративные тренажеры, являющиеся полными аналогами дыхательных аппаратов, только с уменьшенным временем защитного действия. Они точно моделируют полный спектр воздействий аппарата на человека, но их использование сопряжено с необходимостью утилизировать отработанный химический регенеративный продукт, невозможностью вмешиваться инструктору в процесс работы модели и с уменьшенным, по сравнению с оригинальным аппаратом, временем работы. Рассмотрена задача построения моделей дыхательных аппаратов на основе технологий математического и компьютерного моделирования, мехатроники, регистрации и оценки состояний кардио- и респираторной систем человека. По сравнению с регенеративными моделями они позволяют получать дополнительную информацию о режимах работы аппарата и состоянии пользователя, поэтому их можно рассматривать как модели дополненной реальности. Эти модели не используют химический регенеративный продукт, позволяют моделировать широкий спектр режимов работы дыхательного аппарата, обеспечивают полный контроль со стороны инструктора над факторами, оказывающими влияние на человека в любой момент времени работы. Результатом решения задачи является структура модели дыхательного аппарата, при которой время решения задачи моделирования меньше времени одного такта вдоха-выдоха. Задача решается при ограничениях на габаритные размеры модели, ее массу, энергопотребление и внешний вид, который должен соответствовать внешнему виду дыхательного аппарата. В этом случае работа модели может быть обеспечена малогабаритными вычислительными системами с незначительной производительностью и автономными аккумуляторами. Построение моделей, функционирующих в составе стационарных тренажерных комплексов, к которым не предъявляются ограничения по вычислительной мощности и энергопотреблению, является частным случаем задачи

**Ключевые слова:** тренажерный комплекс, дыхательные аппараты, структурно-параметрический синтез, анализ сложных систем

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части (проект 8.2906.2017/ПЧ)

# РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МНОГОВАРИАНТНОЙ ИНТЕГРАЦИИ

**Н.А. Рындин, С.В. Сапегин**

**Аннотация:** рассматриваются особенности задачи проектирования архитектуры мультиагентных систем. Выделяются основные и дополнительные наборы моделей в рамках общего подхода к их проектированию с учетом жизненного цикла этих систем и их компонентов. Формулируется общий вид задачи для совокупности агентов и компонентов мультиагентных систем. С учетом того, что задача синтеза рациональной архитектуры мультиагентных систем является достаточно трудоемкой, связанной с большим количеством вычислений и неопределенностей, рассматривается решение этой задачи с точки зрения аппарата многовариантной интеграции. Изучается процесс нахождения рациональных вариантов на основе сформулированной общей структуры многовариантной оптимизационной модели. В качестве основы численного решения предлагается схема ограничения разнообразия множеств в рамках процесса многовариантной интеграции. Выделяются принципы декомпозиции общего решения для уменьшения сложности задачи по нахождению рациональных вариантов. Помимо этапов логического проектирования приводятся технические этапы проектирования мультиагентных систем. Реализацию архитектур программных подсистем информационной системы в данной парадигме предлагается осуществлять на основе методологии SOA. Подход позволяет достичь повышения эффективности в рамках применяемых методов проектирования

**Ключевые слова:** распределенные корпоративные информационные системы, интеллектуальное проектирование, построение корпоративных информационных систем

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРНОГО  
МОДУЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ ГЕОМЕТРИИ**

**О.В. Калядин, К.Г. Королев**

**Аннотация:** разработана универсальная математическая модель для определения эксплуатационных характеристик термоэлектрических генераторных модулей с произвольной геометрией кольцевых термобатарей. В качестве объекта моделирования был использован термоэлектрический модуль, состоящий из 7 генераторных термобатарей кольцевого типа. В качестве материалов для ветвей термоэлементов были использованы сплавы с р-типом проводимости ( $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_{3,2}$  с добавкой 0,06 % (масс.) Pb) и с n-типом проводимости ( $\text{Bi}_2\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{2,4}$  с добавкой 0,24 % (масс.)  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), полученные методом горячего прессования, для которых были известны температурные зависимости термоЭДС, коэффициента теплопроводности и электропроводности. Для математического описания применяется система, включающая балансовые уравнения модуля; уравнения, устанавливающие связь между тепловыми потоками, КПД, электрической мощностью, генерируемым током, напряжением и сопротивлением внешней нагрузки; выражения, определяющие электрическое сопротивление модуля и полную его теплопроводность между горячим и холодным спаями; уравнения теплопроводности для всех вспомогательных слоев батарей. Результаты моделирования приведены в виде графических зависимостей влияния сопротивления внешней нагрузки на тепловые потоки и температуры спаев по горячей и холодной стороне, КПД и вырабатываемую электрическую мощность, рабочий электрический ток и напряжение. Представлена вольт-амперная характеристика модуля и зависимость генерируемой мощности от рабочего тока

**Ключевые слова:** моделирование, термоЭДС, термоэлектрический генератор, термобатарея кольцевой геометрии, стационарный процесс

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 (договор № 03.G25.31.0246)

# АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАМКАХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.И. Борисова, В.Л. Бурковский

**Аннотация:** рассматриваются результаты анализа тепловых процессов для повышения стойкости к спецфакторам и увеличения ресурса электротехнических комплексов, предназначенных для работы в условиях открытого космоса в составе аппаратуры негерметичного исполнения, как основы реализации интерактивных алгоритмов топологического и конструктивно-модульного проектирования такого агрегата. При этом обсуждаются вопросы математического моделирования тепловых процессов интегрированного конструктива при ограниченных объемах конфигурации в объективную среду с оптимизацией массораспределения, тепловых потоков и теплоконструктивных соотношений при его разработке. Определена проблема специфических особенностей тепловых процессов при тепловых потоках в распределенных электротехнических комплексах механотронного исполнения с цифровым управлением, под агрессию глубокого вакуума и невесомости, при широтно-импульсной модуляции на несущей частоте в контуре «контроллерный электронный преобразователь - исполнительный электромеханический узел – интегрированная конструкция», с учетом того, что их опорная кинематика для условий открытого космоса с вакуумом и солнечным излучением, ограниченной тепловой передачей требует более совершенных конструкций в контексте наиболее сложных разделов теории «прочность-трение» с компромиссом по категориям охлаждения, износостойкости, прочности вибросвойств и др. с обеспечением ресурсной характеристики и долговечности

**Ключевые слова:** тепловые процессы, ресурс, открытый космос, негерметичное исполнение, интегрированная конструкция

## **ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

**А.Ю. Писаревский, Т.Е. Черных, А.В. Тикунов**

**Аннотация:** вопрос развития альтернативной электроэнергетики в нашей стране является весьма актуальной задачей. Благодаря географическим особенностям расположения у нас есть условия для использования многих технологий на основе возобновляемых источников энергии (гелиоэнергетика, малая гидроэнергетика, ветроэнергетика). Одной из самых перспективных по энергетическим показателям является ветроэнергетика. Однако на сегодняшний день в российской ветроэнергетике имеется ряд проблем, препятствующих ее развитию. Эти проблемы связаны с тем, что многие десятилетия в нашей стране использование экологически чистых возобновляемых источников энергии считалось экономически нецелесообразным, в связи с чем на начало двухтысячных годов у нас не оказалось конструкций установок, основанных на современных электротехнических устройствах, новых типах ветроколес и т.п. Одной из таких проблем является отсутствие серийных специализированных генераторов для ветроэнергетических установок российского производства, которые обладали бы высокими надежностью и энергетическими показателями, большим сроком эксплуатации, простой конструкцией при низкой себестоимости. На сегодняшний день большинство генераторов, которые разработчики ветроэнергетических установок вынуждены использовать, либо машины общепромышленного назначения, либо иностранного производства. В этой связи предлагается конструкция генератора, который может быть использован в вертикально-осевой ветроэнергетической установке

**Ключевые слова:** синхронный генератор, постоянные магниты, обмотка якоря, магнитная система

# КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

В.Н. Крысанов, Н.В. Ситников, Н.И. Королев, Д.А. Мамонтов, С.А. Горемыкин

**Аннотация:** обосновывается необходимость разработки технического комплекса компенсации реактивной мощности в трёхфазных электрических сетях напряжением 6(10) кВ применительно к городским условиям. Коэффициент реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  в городских распределительных сетях определяется значительным числом однофазных потребителей, суточные графики которых в силу очевидной специфики не могут быть строго спрогнозированы. В этой связи при отыскании путей решения проблемы использована статистическая обработка суточных графиков нагрузки значительного числа подстанций мегаполиса. Физически неизбежность передачи по электрическим сетям реактивной мощности оправдана необходимостью создания магнитных полей в асинхронных электроприводах (60 – 65% общего потребления электрической мощности), трансформаторах (20 – 25%), а также существованием магнитных полей в воздушных электрических сетях, реакторах, преобразователях и ряде других электроустановок (около 15%). Реактивная мощность, являющаяся обменной между генератором и нагрузкой и традиционно сопутствующая передаче активной составляющей мощности, не подлежит оплате. Вместе с тем эта мощность в процессе транспортировки по электрическим сетям в той же мере влияет на потери активной мощности, как и транспортировка равного количества активной мощности. Приведена мотивация подготовки вариантов реализации автоматизированных комплексов компенсирующих устройств по числу ступеней и графикам включения в зависимости от суточных графиков получасовой мощности, в которых наблюдалось превышение коэффициента реактивной мощности сверх установленных норм. Разработанный комплекс программно-технических средств содержит методику статистического анализа получасовых данных по потреблению активной и реактивной мощностей на головных питающих фидерах главных понизительных подстанций Воронежской горэлектросети. Приведены результаты реализации пилотного проекта компенсации реактивной мощности на одном распределительном пункте в г. Воронеже

**Ключевые слова:** коэффициент реактивной мощности, тиристорные регуляторы напряжения, регулирование потоков реактивной мощности в системе

# ОЦЕНКА НЕСИММЕТРИИ ИНДУКЦИОННОЙ МАШИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Е.С. Кинев, А.А. Тяпин, С.Н. Ефимов

**Аннотация:** рассмотрены особенности расчета и моделирования индукционного технологического оборудования, предназначенного для перемешивания жидкого алюминия в печах и миксерах. Вместо механического перемешивания на современном производстве широко используют индукционные магнитогидродинамические (МГД) устройства продольного или поперечного магнитного поля. Новые печи непременно оснащают МГД-комплексами, состоящими из индуктора и источника питания. Печи предыдущих поколений подвергают модернизации, в ходе которой оснащают МГД-перемешивателями. Задачу выбора разновидности МГД-машины решают для каждого цеха индивидуально, опираясь на характеристики и цену. Индукторы продольного и поперечного поля отличаются конструкцией, эффективностью, режимами электропитания, себестоимостью. Кроме того, технологические комплексы могут отличаться типом и характеристиками источников питания. При создании индукционных машин применяют комплексные решения для согласования оптимизированной электромагнитной системы индуктора и режима электропитания, допустимого в системе электроснабжения. Энергообеспечение индукторов продольного магнитного поля на печах с алюминием обеспечивают с помощью трёхфазных IGBT-инверторов на частоте около 1 Гц. Приемлемую надёжность и достаточную гибкость управления обеспечивают транзисторные частотные преобразователи с единичными мощностями в сотни кВА. Для линейных индукционных машин характерно наличие разомкнутого магнитопровода, поэтому режим электропитания многофазных обмоток оказывается несимметричным. Несимметрия токов, а также краевые эффекты могут приводить к искажению бегущего магнитного поля и снижать интегральное тяговое усилие индукционной машины. Оценку несимметрии электромагнитного режима для разных схем включения обмоток трёхзонных и четырёхзонных МГД-машин продольного магнитного поля можно выполнять с применением метода симметричных составляющих

**Ключевые слова:** несимметрия, трёхфазная индукционная машина, электромагнитный индуктор, бегущее магнитное поле, электромагнитный перемешиватель, система электроснабжения индукционной машины, метод симметричных составляющих, токи обратной последовательности, частотный инвертор

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Н.Н. Кожухов, Д.А. Прутских

**Аннотация:** на нужды вентиляции и кондиционирования воздуха предприятиями различных отраслей промышленности, а также жилыми и общественными помещениями расходуется значительное количество тепловой энергии. Проектирование современных тепловых энергоустановок может дать значительный экономический эффект при их эксплуатации. Одним из основных резервов энергосбережения в системах вентиляции и кондиционирования в жилых и производственных помещениях является использование водоиспарительного охлаждения воздуха. Наибольший эффект достигается путем применения воздухоохладителя с «кипящим» центробежным слоем. Насадкой для такого слоя служат мелкие частицы материала, которые являются теплоносителем для регенеративной передачи тепловой энергии. Такие технико-экономические параметры, как стоимость изготовления аппарата, коррозионная стойкость, смачиваемость материала, удельная площадь поверхности контакта фаз являются ключевыми при определении эффективности работы воздухоохладителя. На основе теоретических и экспериментальных разработок проведены оценка принципиальной возможности работы аппарата с «кипящим» слоем и расчет его тепловой эффективности. Результаты исследований представлены аналитическими и эмпирическими уравнениями. В ходе их решения оказалось возможным получить значения основных параметров воздухоохладителя. Результаты исследования подтвердили высокую эффективность аппарата и могут быть использованы для его расчета

**Ключевые слова:** водоиспарительное охлаждение, математическая модель, псевдооживленный слой, экспериментальная установка, коэффициент тепловой эффективности

# К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ОРЕБРЕНИЯ ПРИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В УСЛОВИЯХ КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛООТДАЧИ

С.В. Дахин

**Аннотация:** рассмотрен вариант термостатирования теплообменной поверхности при конвективной теплоотдаче. Поверхность теплообмена разбивается на участки с заданным тепловым потоком. На каждом участке условие постоянства температуры стенки предполагается реализовать путём управления термическим сопротивлением, применяя рёбра переменной высоты, изменяя их количество и условия теплоотдачи на оребрённой поверхности. Увеличение теплоотдачи может быть осуществлено любым подходящим способом за счёт применения интенсификаторов различного вида. Одновременно должно выполняться условие равенства температуры стенки в поперечном сечении потока между температурой под ребром и в середине межрёберного пространства за счёт изменения расстояния между рёбрами и их толщины. Таким образом, температура стенки в пределах рассматриваемого участка регулируется в продольном (по ходу потока) и в поперечном направлениях с учётом заданной и допустимой для данного технологического процесса температурной невязки. Проведена оценка влияния параметров на изменение отношения безразмерной температуры оребрённой стенки, которая показала, что максимальное влияние оказывают толщина ребра и число Био, а высота ребра - минимальное. Увеличение расстояния между рёбрами приводит к уменьшению этого отношения, причём с небольшим темпом

**Ключевые слова:** ребро переменной высоты, термосопротивление, термостабилизация

# ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.Л. Руцков, А.В. Бурковский, О.Г. Яскевич

**Аннотация:** одна из актуальных проблем развития систем диспетчерского управления связана с разработкой средств оптимизации электроэнергетических систем на основе моделей управления динамикой перетоков энергоресурсов. При этом целью является минимизация потерь активной мощности. Проведен сравнительный анализ двух альтернативных методов решения задачи оптимизации электроэнергетических систем по критерию минимума потерь активной мощности. Описан обобщенный алгоритм реализации метода Лагранжа при независимых начальных условиях, а также алгоритм оптимизации электроэнергетической системы с использованием модифицированного метода Ньютона–Рафсона, дополненного нечеткой нейронной сетью. За счет применения нечетких нейронных сетей осуществляется учет слабоформализуемых факторов, обусловленных неравномерностью потребительской нагрузки и оказывающих влияние на энергораспределение в электроэнергетической системе. Приведены результаты численного моделирования с целью оптимизации узла электроэнергетической системы Воронежской энергозоны на основе двух описанных алгоритмов. Показано, что использование нечетких нейронных сетей управления динамикой перетоков мощности в рамках оптимизационной модели позволяет существенно снизить ее погрешность

**Ключевые слова:** электроэнергетические системы, минимизация потерь активной мощности, динамика перетоков, управление, оптимизационная модель

## **ЛИНЕЙНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ СО СВЕРХМАЛЫМ ПАДЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ**

**А.С. Шайкин, И.А. Суров, Е.Д. Алперин**

**Аннотация:** рассматривается разработка принципиальной схемы линейного стабилизатора напряжения с падением напряжения менее 200 мВ (Ultra LDO) и током нагрузки 100 мА. Предложена его структурная схема, в которую входят три основных блока: источник опорного напряжения (ИОН), усилитель сигнала ошибки (УСО) и регулирующий элемент (РЭ). В качестве усилителя сигнала ошибки используется операционный усилитель с компенсацией Миллера с конденсатором в цепи обратной связи, выполненный по МОП – технологии. В качестве источника опорного напряжения выбран bandgap core, величина напряжения на выходе которого определяется величиной ширины запрещенной зоны используемого полупроводника. Для работы УСО и ИОН требуется стабильный ток. Для его реализации используется схема термостабильного источника тока, ток на выходе которого остается стабильным в широком диапазоне температур. В качестве регулирующего элемента стабилизатора напряжения используется р-канальный МОП-транзистор, сопротивление которого изменяется таким образом, чтобы уровень выходного напряжения оставался практически постоянным, компенсируя флуктуации тока нагрузки и входного напряжения. С помощью имитационного моделирования в системе Cadence Virtuoso Schematic проверяется работоспособность стабилизатора напряжения, исследуются его температурная нестабильность, нестабильность по напряжению питания, минимальное падение напряжения, коэффициент подавления пульсаций напряжения питания. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности использования данного стабилизатора в источниках для питания процессоров и ПЛИС

**Ключевые слова:** стабильное напряжение, источник опорного напряжения, термостабильный источник тока, усилитель сигнала ошибки, минимальное падение напряжения

## РЕАЛИЗАЦИЯ СТОХАСТИЧЕСКОГО LDPC-ДЕКОДЕРА НА ПЛИС

А.В. Башкиров, И.В. Свиридова

**Аннотация:** рассматриваются LDPC-коды применительно к следующим стандартам связи: 10GBASE-T, DVB-S2 и IEEE 802.16 (WiMAX). Представлен обзор нового класса стохастических итеративных архитектур декодирования. Предлагаемая в работе архитектура дает возможность организации параллельного декодирования (длинных) современных LDPC-кодов с реализацией декодеров на ПЛИС. Стохастические декодеры работают с вероятностными сообщениями в двоичном представлении, что позволяет создать упрощенную архитектуру факторного графа на ПЛИС. Описана реализация на ПЛИС LDPC-декодера с 8 информационными и 8 закодированными битами. На ПЛИС Altera Cyclone пропускная способность составляет 5 Мбит/с при тактовой частоте 100 МГц и, как ожидается, частота будет увеличиваться почти линейно с длиной кода. Проведенное моделирование декодера на ПЛИС Altera Stratix показало пропускную способность 8 Мбит/с. Описана аппаратная реализация стохастического LDPC-декодера. Рассматриваются основы итеративного декодирования LDPC-кодов. Описывается концепция стохастического декодирования. Представлен обзор аппаратной архитектуры стохастического LDPC-декодера. Результаты реализации на ПЛИС и выводы приведены в заключении данной статьи

**Ключевые слова:** стохастический декодер, LDPC код, стохастические вычисления

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО СИНТЕЗА НА БАЗЕ ПЛИС

А.А. Пирогов, Е.А. Бочаров, Э.В. Сёмка, О.Ю. Макаров

**Аннотация:** неотъемлемым элементом большинства радиотехнических устройств являются системы синтеза частот и сигналов. Большинство известных схем использует аналоговые элементы, которым присуще изменение параметров в той или иной степени под влиянием внешних факторов. Однако с появлением и развитием цифровой техники, которая использует исключительно математические расчеты и логические функции, устойчивые к изменению внешних факторов, появился новый способ генерации сигналов – это прямой цифровой синтез. Один из основных типов синтезаторов частот – цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС). Высокое разрешение по частоте и фазе, максимально быстрый переход на другую частоту без разрыва фазы, возможность управления частотой, фазой и амплитудой по цифровому интерфейсу постоянно расширяют сферу применения ЦВС в различных областях техники, таких как связь со спутниками, радиолокация, радионавигация, измерительные приборы и т.д. Прямой цифровой синтез – метод создания сигнала требуемой частоты и формы с помощью цифровых ресурсов. Благодаря цифровому решению генерируемый сигнал обладает точностью, присущей цифровым системам. Частота, амплитуда и фаза сигнала в любой момент времени известны и подконтрольны. Благодаря этим преимуществам прямой цифровой синтез все сильнее вытесняет аналоговые решения. Актуальность работы обусловлена отсутствием отечественных аналогов микросхем синтезаторов частот, реализованных на современной элементной базе. Описана методика проектирования прямого цифрового синтезатора (ПЦС) с четвертьволновым преобразователем (ЧВП) на базе ПЛИС

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

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ РОЛИКОВОГО ПОДШИПНИКА КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА

Д.В. Журавлёв, Т.С. Глотова, В.В. Готов

**Аннотация:** мониторинг состояния оборудования в широком понимании подразумевает считывание информационных сигналов с различных датчиков, сбор данных, обработку сигналов и их анализ для извлечения и оценки информации о неисправностях. Цель мониторинга - предотвращение внеплановой остановки производственных процессов из-за неисправности отдельных узлов и катастрофических аварий оборудования в ходе работы железнодорожных вагонов. Мониторинг состояния совершенно необходим на транспорте, где соображения безопасности имеют высокий приоритет. Мониторинг необходим для достижения максимально выгодного экономического эффекта, так как установка неисправностей будет проходить на ранних стадиях разработки. Вибрационные сигналы являются носителями информации как для машины в целом, так и для ее частей, каждая из которых характеризуется собственным спектром частот вибрации. Чтобы обеспечить эффективное упреждающее детектирование повреждений в сложных механизмах, содержащих множество узлов, требуются такие методы обработки и анализа сигналов, которые позволяют извлечь из полного виброакустического (ВА) сигнала парциальную информацию о состоянии каждого конкретного компонента оборудования. Описаны результаты экспериментального исследования статистических характеристик ВА сигналов роликового подшипника колёсной пары железнодорожного вагона

**Ключевые слова:** виброакустические сигналы, роликовый подшипник, грузовой вагон, статистические характеристики

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛИНЗЫ ФРЕНЕЛЯ НА ПАРАМЕТРЫ ТЕМ-РУПОРА

Л.Н. Коротков, А.С. Самодуров, Д.С. Погребной

**Аннотация:** исследовано влияние линзы Френеля на входные параметры рупорной антенны при установке различных вариантов линзы Френеля. Установлено, что использование линзы Френеля на раскрытие рупорной антенны в большинстве случаев приводит к улучшению ряда параметров, из которых наиболее важное значение имеют коэффициент стоячей волны по напряжению, коэффициент усиления, активное и реактивное входное сопротивление. В ходе численного эксперимента было выяснено, что направление установки линзы очень важно, это наглядно отображено на графиках исследования. Так, например, перевёрнутая линза отличается от обычной тем, что у рупорной антенны с ней лучше показатели коэффициента усиления (одного из главных показателей для антенн) без сужения угла диаграммы направленности. Достигается это за счёт различного сдвига когерентных волн по фазе, благодаря чему максимумы волн из разных зон совпадают, а это в свою очередь вызывает усиление сигнала при неизменном угле излучения. Анализ полученных в ходе моделирования результатов показал, что именно перевёрнутая линза Френеля обеспечила улучшение комплекса параметров рупорной антенны в нескольких диапазонах частот. Для дополнительной проверки результатов была составлена трёхмерная диаграмма направленности антенны, благодаря чему удалось установить, что никакого отрицательного воздействия на направленность антенны нет, угол среза зубцов на зонах Френеля установлен правильно

**Ключевые слова:** ТЕМ-рупор, диэлектрическая линза, линза Френеля, рупорная антенна

## УПРАВЛЯЕМЫЕ ДВУХКАСКАДНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ НА ПАВ-ФИЛЬТРАХ

М.И. Бочаров, С.Г. Некрасов, А.Е. Акиншин

**Аннотация:** к управляемым генераторам высокочастотных колебаний, используемых на высоких частотах и СВЧ, предъявляются повышенные требования по линейности модуляционных характеристик, величине девиации частоты, уровню шумового излучения и стабильности частоты. Эти противоречивые требования могут быть выполнены с использованием генераторов, выполненных на двухкаскадных усилителях и фильтрах на поверхностных акустических волнах (ПАВ). На основе анализа основных структур двухкаскадных усилителей (каскадных схем) сделано обоснование по реализации управляемого генератора на ПАВ полосовых фильтрах с применением двухкаскадных усилителей общая база - общий коллектор при токовом управлении частотой генератора барьерной емкостью варактора. Для реализации управляемых генераторов с оптимальными характеристиками предложена методика их расчета, основанная на матричном методе и применении Y-параметров, что позволяет реализовать оптимальный энергетический режим работы с минимальными нелинейными искажениями. Для оценки достоверности полученных результатов проведены моделирование и экспериментальная проверка статической модуляционной характеристики (СМХ), динамической модуляционной характеристики (ДМХ), уровня шумового излучения и нелинейных искажений. Установлено, что диапазон перестройки по частоте ПАВ-генератора составляет около 0.9 % при девиации частоты 230 кГц, уровне шумового излучения около 155 дБ/Гц при отстройке от средней частоты на 100 кГц и режимной нестабильности частоты  $1.8 \cdot 10^{-5}$  при изменении напряжения питания на  $\pm 5$  %

**Ключевые слова:** ПАВ-фильтр, двухкаскадный усилитель, матричный метод, модуляционные характеристики, моделирование и экспериментальные исследования

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ ПО МЕТОДУ ОБТЯЖКИ**

**В.В. Елисеев, Л.В. Хливненко, А.М. Гольцев, С.С. Одинг**

**Аннотация:** излагается расчетно-экспериментальная методика определения коэффициентов трения между листовой заготовкой и носителем формы методом обтяжки. Определение коэффициента трения выполнено на основе решения задачи о равновесии элемента заготовки, нагруженной по схеме изгиба с растяжением с учетом трения по закону Кулона. Экспериментальный коэффициент трения находили по распределению продольных деформаций образца после обтяжки. Для проведения исследования предварительно выполнили испытания по определению механических свойств различных материалов, используемых при обтяжке реальных деталей из алюминиевых сплавов и сталей. При определении коэффициентов трения использовали установку для простой обтяжки. Исследовано влияние различных материалов пуансона и заготовки и смазки на коэффициент трения. Установлено влияние трения на предельную деформацию заготовки. Результаты исследований используются при моделировании различных операций листовой штамповки с помощью систем автоматизированного проектирования технологических операций (САПР ТО)

**Ключевые слова:** коэффициент трения, заготовка, смазка, предельная деформация, обтяжка

# ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.А. Цеханов, И.В. Харченко, Р.М. Джемалидинов, В.В. Скакун

**Аннотация:** одним из актуальных направлений в области повышения эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) является модифицирование жидкостей ультрадисперсными порошками. Непосредственно коагуляция (агрегатирование) является основной проблемой при применении ультрадисперсных порошков, так как возникают трудности в их диспергировании, стабилизации и однородном распространении в объёме смазки. Наиболее эффективным средством устранения указанных недостатков является интенсивное диспергирование частиц металлов с введением полимера (ПАВ), который в свою очередь активно покрывает поверхность защитной оболочкой, что препятствует их дальнейшему агрегатированию. Интенсивное диспергирование разрывает коагуляционную связь, а полимер создаёт сольватную оболочку вокруг частицы. В результате активного диспергирующего воздействия в присутствии полимера удаётся добиться стабилизации модификатора в дисперсном виде и предотвратить его коагуляцию. Приведены результаты влияния стабилизированных СОТС с ультрадисперсными модификаторами алюминия и молибдена на износ и силовые характеристики процесса точения металлов с различной химической активностью. Из гистограмм видно, что использование стабилизированных ультрадисперсных модификаторов способствует снижению сил резания и снижению износа инструмента по передней поверхности за счёт снижения удельного давления и изменения угла сдвига стружки. Применение техники минимальной смазки способствует экономической целесообразности процесса

**Ключевые слова:** ультрадисперсные модификаторы, смазочно-охлаждающие технологические средства, ультразвуковое воздействие, техника минимальной смазки, поверхностно-активные вещества, силы резания, коагуляция, износ

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПРОВОЛОКОЙ С ОСЕВОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТА

**Е.В. Смоленцев, В.Г. Грицюк, О.Г. Шпилова, Д.Е. Крохин**

**Аннотация:** электрохимическая обработка проволокой в основном используется для резки обрабатываемых деталей с широким диапазоном толщин. Она имеет большое преимущество по сравнению с непрофилированным электродом при электроэрозионном методе, так как позволяет избежать зоны термического влияния в области обработки. Кроме того, проволочный электрод в электрохимической обработке может быть использован повторно, так как он не изнашивается. Титан и сплавы широко используются в аэрокосмической промышленности, в качестве деталей ракетных и авиационных двигателей, а также фюзеляжа, благодаря хорошему сочетанию высокой удельной прочности и коррозионной и жаростойкости. Титан и его сплавы считаются труднообрабатываемыми из-за ряда свойств этих материалов, таких как плохая теплопроводность, химическая реакционная способность и низкий модуль упругости. Рассмотрены осевая подача электролита для удаления продуктов электролиза при обработке титана, оптимизация параметров обработки, таких как скорость подачи, рабочее напряжение, концентрация электролита и т.д. Экспериментальные результаты показывают, что электрохимическая обработка с осевой подачей электролита является перспективным методом при обработке титанового сплава ОТ4. Рассматривается возможность многоэлектродной электрохимической обработки для повышения производительности обработки

**Ключевые слова:** электрохимическая обработка, титан, электрод-проволока

# ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

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

**Аннотация:** рассмотрено применение комплексно-легированных сплавов для изготовления режущего инструмента. Одними из показателей, влияющих на параметры качества обработанной детали, которые необходимо учитывать при обработке крупногабаритных деталей, являются показатель ударной вязкости инструментального материала и продолжительность работы режущего инструмента. Применение в конструкциях режущего инструмента оптимизированных составов износостойких сплавов и способов их получения позволяет повысить износостойкость и сопротивляемость режущего инструмента ударной нагрузке. Для изготовления литого инструмента из новых комплексно-легированных сплавов использованы две принципиально различные технологические схемы: 1) отжиг литых заготовок, механическая обработка, высокотемпературная закалка, отпуск на вторичную твердость, доводка шлифованием; 2) получение точнолитых заготовок, их зачистка и доводка. Установлен рациональный химический состав комплексно-легированных сплавов (основа – железо), включающий: от 1,3% до 1,9% углерода, 3,6-5,3% молибдена, 3,4-6,1% ванадия, 4,0-5,5% хрома, до 1,3% кремния при ограниченном содержании марганца (до 1,2%), алюминия и редкоземельных элементов (до 0,15%). Использование в качестве инструментального материала новых литых комплексно-легированных сплавов обеспечивает режущему инструменту высокую стойкость и сопротивляемость ударной нагрузке, приводит к уменьшению стоимости, дает возможность изготавливать режущие инструменты, работающие при высоких ударных нагрузках, для обработки крупногабаритных деталей, зубчатых колес и других заготовок

**Ключевые слова:** режущий инструмент, ударная нагрузка, комплексно-легированные сплавы, износостойкость

# **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ, ИЗГОТОВЛЯЕМОГО НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**А.П. Суворов, А.В. Кузовкин**

**Аннотация:** актуальность исследования обоснована необходимостью модернизации технологии проектирования и изготовления электрода-инструмента для электрических методов обработки с целью снижения затрат в условиях опытно-конструкторского и единичного производств. Раскрыты возможности использования современных средств автоматизированного проектирования и технологии быстрого прототипирования для изготовления сложнопрофильного инструмента для единичного и опытно-конструкторского производств. В качестве подхода к исследованию данной проблемы используется расчет геометрии профиля рабочей поверхности комбинированного сложнопрофильного электрода-инструмента для электрических методов обработки с учетом его реализации на основе аддитивных технологий из диэлектрических материалов с последующим нанесением токопроводящего покрытия. Представлены методики определения габаритных размеров электрода-инструмента для электрических методов обработки с учетом износа и толщины токопроводящего покрытия при проектировании и изготовлении инструмента с помощью аддитивных технологий и использовании его в опытно-конструкторском и единичном производствах. Материалы статьи представляют практическую ценность для предприятий машиностроительного комплекса, так как позволяют производить изменения технологии проектирования и изготовления электродов-инструментов для электрических методов обработки и использовать современные системы автоматизированного проектирования и аддитивные технологии, что снижает себестоимость и повышает вариативность его применения

**Ключевые слова:** электрод-инструмент, электрохимическая обработка, аддитивные технологии

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДОВ  
ВИСМУТА N-ТИПА ПРОВОДИМОСТИ С НАНОРАЗМЕРНОЙ ОКСИДНОЙ  
ФАЗОЙ**

**Ю.В. Панин, Ю.Е. Калинин**

**Аннотация:** рассмотрены вопросы повышения термоэлектрической добротности применяемых на практике термоэлектрических материалов. Существенный прорыв в повышении термоэлектрической добротности ( $ZT$ ) термоэлектриков был осуществлен в 50-е годы прошлого века, благодаря реализации выдвинутой А.Ф. Иоффе концепции полупроводниковых твердых растворов на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ , которая в дальнейшем была реализована на практике. В настоящее время наметился новый прорыв в повышении  $ZT$  термоэлектрических материалов, основанный на применении наноструктурированных термоэлектрических материалов, а также введении в структуру термоэлектриков наночастиц других компонентов. С учетом последних тенденций повышения термоэлектрической добротности в работе исследованы термоэлектрические параметры композиционного материала на основе твердых растворов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Se}_2\text{Te}_3$  n-типа проводимости, содержащего наноразмерную оксидную фазу основного полупроводникового материала. Образцы для исследований были синтезированы по керамической технологии с концентрацией наноразмерного оксидного наполнителя 0,1 - 0,12 масс. %. Установлено, что введение оксидного наноразмерного наполнителя приводит к увеличению отношения электропроводности к теплопроводности материала и росту термоэдс. Показано, что термоэлектрическая добротность получаемых композитов достигает максимального значения  $ZT = 1$  в интервале температур 500-600 К.

**Ключевые слова:** нанокompозиты, термоэдс, удельное электрическое сопротивление, коэффициент теплопроводности

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Создание высокотехнологичного производства автономных источников тока на основе термоэлектрических генераторных модулей нового поколения», реализуемого в рамках постановления № 218 03.G25.31.0246

# ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТелЛУРИДА ВИСМУТА

А.А. Гребенников, А.И. Бочаров, В.В. Бавыкин, И.В. Извекова

**Аннотация:** исследовано влияние режимов горячего прессования (давления прессования и времени выдержки под давлением) на термоэлектрические свойства теллурида висмута  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.4}\text{Se}_{0.6}$  n-типа проводимости, легированного каломелью  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ . Образцы получены по технологии порошковой металлургии – синтез химического соединения с последующим горячим прессованием. Установлено, что изменение режимов горячего прессования незначительно влияет на коэффициент термо-ЭДС – численные значения практически совпадают при температурах больших  $200\text{ }^\circ\text{C}$  и различаются не более чем на 3% при температурах менее  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . Проводимость образцов не зависит от давления прессования и времени выдержки. До температуры  $200\text{ }^\circ\text{C}$  температурные зависимости проводимости практически совпадают, при более высокой температуре различие в проводимости не превышает 5%. Изменение режима горячего прессования влияет, прежде всего, на величину теплопроводности. Причем как увеличение давления прессования, так и увеличение времени выдержки под давлением приводят к снижению теплопроводности материала. Таким образом, увеличивая давление прессования, время выдержки под давлением или одновременно оба параметра, можно увеличить термоэлектрическую добротность теллурида висмута. В исследованных образцах рост термоэлектрической добротности составил 15%

**Ключевые слова:** термоэлектричество, теллурид висмута, электропроводность, теплопроводность, термо-ЭДС

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 (договор № 03.G25.31.0246)

## ДЕКРЕМЕНТ ЗАТУХАНИЯ И ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ СТРУНЫ

**А.Т. Косилов, В.А. Юрьев, Р.Б. Калинин**

**Аннотация:** показана связь между уравнением внутреннего трения материала струны и собственной частотой ее колебаний, применен метод затухания колебаний струны для нахождения уровня внутреннего трения. Резонансная частота основной изгибной моды колебаний близка к резонансной частоте второй струнной моды колебаний нити, что позволяет осуществить управляемое демпфирование нити. Проведен аналитический расчет демпфирующих свойств натянутой струны с известной величиной внутреннего трения материала, из которого она изготовлена. Учитывая потери энергии в струне и не останавливаясь на каком-либо конкретном механизме диссипации энергии, можно сказать, что в целях сохранения общности рассуждений величина внутреннего трения материала струны будет характеризоваться углом сдвига фаз между напряжением и деформацией. Для решения волнового уравнения применен метод Боголюбова. При определении величины декремента затухания, пропорциональной истинному уровню внутреннего трения, следует всегда помнить, что коэффициент пропорциональности в зависимости от условий нагружения струны может изменяться в широких пределах. Поэтому применять метод затухания колебаний струны для нахождения уровня внутреннего трения следует с большой осторожностью, определяя каждый раз величину напряжения

**Ключевые слова:** внутреннее трение, сдвиг фаз, напряжение, деформация

# ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИОННО-ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

**В.В. Бавыкин, Ю.Е. Калинин, В.А. Макагонов, С.Ю. Панков, В.А. Юрьев**

**Аннотация:** исследовано влияние легирования серебром и углеродом на электрические свойства тонких пленок теллурида свинца PbTe, полученных методом ионно-лучевого напыления. Структура пленок характеризуется фазой PbTe с кубической решёткой типа NaCl, сильной текстурой с осью  $\langle 100 \rangle$ , перпендикулярной плоскости подложки. Легирование теллурида свинца 2,7-2,8 ат. % Ag и 9,7-11 ат. % C приводит к росту концентрации и подвижности носителей заряда по сравнению с чистыми пленками PbTe. При концентрациях Ag более 2,8 ат. % и C более 11 ат. % происходит образование двухфазных композитов PbTe-C и PbTe-Ag<sub>2</sub>Te, что приводит к уменьшению концентрации носителей заряда и их подвижности с увеличением содержания легирующего элемента. Рассчитаны максимально достигнутые в данной работе значения фактора термоэлектрической мощности для тонких пленок PbTe - C и PbTe - Ag, которые составили 0,768 мВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup> и 1 мВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup> для образцов с 11 ат. % C и 3 ат. % Ag соответственно, что вдвое больше значения, полученного для чистых пленок PbTe при тех же условиях напыления (0,584 мВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup>)

**Ключевые слова:** теллурид свинца, электросопротивление, тонкие пленки, термоэдс, эффект Холла

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Создание высокотехнологичного производства автономных источников тока на основе термоэлектрических генераторных модулей нового поколения», реализуемого в рамках постановления № 218 03.G25.31.0246

## МОДУЛЬ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТ С КАСКАДОМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАДИТЕЛЯ

А.В. Сергеев, И.М. Голев

**Аннотация:** предложена конструкция преобразователя частот на основе высокотемпературного сверхпроводника системы  $\text{Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O}$ . В качестве охлаждающего устройства предлагается к использованию микрокриогенная система, работающая по обратному циклу Стирлинга. Описано устройство микрокриогенной системы. Такая система способна обеспечивать термостабилизацию объекта на температурном уровне  $T=80\div 120\text{K}$  с точностью  $\pm 0,5\text{K}$ , что является недостаточным для преобразователя частот на основе  $\text{Bi-ВТСП}$ . Для повышения точности термостабилизации и снижения инерционности системы, в конструкции применяется термоэлектрический холодильный модуль. Дополнительная стабилизация температуры преобразователя частот обеспечивается термоэлектрическим холодильным модулем, работа которого основана на эффекте Пельтье. В качестве материалов для термоэлектрического холодильного модуля, работающего при криогенных температурах, предлагается использовать для n-ветви сплав  $\text{Bi-Sb}$ , для p-ветви –  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . По оценкам, в предлагаемой конструкции термоэлектрический холодильный модуль способен обеспечивать термостабилизацию объекта на уровне  $0,05\text{K}$ . Описаны конструкция и принцип работы преобразователя частот. В работе обоснована возможность применения сверхпроводящих материалов на основе висмута в качестве нелинейного преобразователя. Описана технология получения материалов методом твердофазного синтеза. Приведены прекурсоры для конечного материала. Показаны результаты исследования микроструктуры и результаты рентгеноструктурного анализа

**Ключевые слова:** высокотемпературный сверхпроводник, термоэлектрический холодильный модуль, преобразователь частот, микрокриогенная система, нелинейная среда, микроструктура

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 (договор № 03.G25.31.0246)

# СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПАКТИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ , ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩИХ ОБРАБОТОК ПОВЕРХНОСТИ

В.А. Дыбов, Д.В. Сериков, Е.Н. Федорова, Д.А. Синецкая, П.С. Мозговой, М.С. Дякина

**Аннотация:** эффективность термоэлектрических генераторных батарей определяется как объемными свойствами полупроводника (в первую очередь, термоэлектрической добротностью), так и контактными свойствами границы раздела полупроводник-коммутационный слой (контактное сопротивление, адгезия). Первые зависят от способа изготовления материала, вторые – от способа обработки поверхности материала перед формированием коммутационных слоев. Цель настоящей работы – установление закономерностей формирования структуры и фазового состава полупроводниковых материалов р-типа на основе твердого раствора  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  в результате горячего прессования, а также в результате различных технологических вариантов обработки поверхности материала. Методами рентгеновской дифрактометрии (РД), сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), растровой электронной микроскопии (РЭМ) и наноиндентирования исследованы фазовый состав, структура и механические свойства (твердость, модуль упругости) образцов компактных полупроводниковых материалов р-типа проводимости на основе твердого раствора  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ , полученных в процессе горячего прессования до и после разных вариантов подготовки поверхности (механическое полирование, электрохимическая полировка, импульсная фотонная обработка). Установлено, что в процессе горячего прессования в объеме полупроводникового материала на основе твердого раствора  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  формируется текстура с осью зоны  $\langle 001 \rangle \text{Bi}_{0,4}\text{Sb}_{1,6}\text{Te}_3$ , параллельной оси прессования; для приповерхностной области (на глубине до 200 мкм) характерна текстура с осью зоны  $\langle 001 \rangle \text{Bi}_{0,4}\text{Sb}_{1,6}\text{Te}_3$ , нормальной поверхности. Механическое полирование и импульсная фотонная обработка образцов материала вызывают в нем субструктурные изменения, связанные с возрастанием доли межзеренных границ и повышением дисперсности зеренной структуры. Установлено, что механическое полирование образцов материала упрочняет приповерхностный слой толщиной до 2 мкм, фотонная обработка приводит к упрочнению более глубоких слоев материала, а электрохимическое полирование приводит к снижению величины твердости и модуля упругости

**Ключевые слова:** термоэлектричество, теллурид висмута, горячее прессование, текстура, твердость

**Благодарность:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 (договор № 03.G25.31.0246)