

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**XXI Международная конференция
молодых специалистов по
микро/нанотехнологиям и
электронным приборам (EDM-2020)**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Новосибирск, 29 июня - 04 июля 2020 г.

НОВОСИБИРСК
2020

УДК 621.382-181.48(063)

ББК 30.600.3

M431

M431 **XXI Международная конференция молодых специалистов по микро/нанотехнологиям и электронным приборам (EDM-2020) // Материалы конференции / под ред. Гадюкиной А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 116 с.**

ISBN 978-5-7782-4207-4

В сборнике приведены аннотации докладов, представленных на XXI Международной конференции молодых специалистов по микро/нанотехнологиям и электронным приборам (EDM-2020).

Мероприятие проводится при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-07-22006

УДК 621.382-181.48(063)

ББК 30.600.3

ISBN 978-5-7782-4207-4

© Новосибирский государственный
технический университет, 2020

МИКРОКРИСТАЛЛИТЫ И ГРАНУЛЯРНОСТЬ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ¹

Анастасия А. Колесова, Евгений А. Петров
**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета, г. Бийск, Россия**

В настоящее время в науке и технике применяют детонационный синтез наноалмазов, полученных как из углерода молекулы взрывчатого вещества, так и из смеси взрывчатого вещества с добавлением графита или сажи. В последнем случае алмазы крупнее. В данной работе исследованы продукты синтеза, полученные в промышленных условиях при детонации смеси тринитротолуола (тротила) с галогеном (гексогеном) и гексогена с графитом. Размеры микрокристаллитов оценивали методом рентгеноструктурного анализа и размер зерен частиц по измерению удельной поверхности агломерата в водной суспензии после обработки ультразвуком. Показана эволюция размеров частиц наноалмазов, как в первичных продуктах синтеза, так и после обогащения из неалмазных форм углерода и технологических примесей. Полученные результаты могут быть полезны для изучения механизма синтеза и практического применения детонационных НД.

Ключевые слова - наноалмаз, детонационный синтез, микрокристалл, зернистость, ультразвук, агломерат.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-19070 mk.

УДАЛЕНИЕ ОКСИДОВ С ПОВЕРХНОСТИ (001)INP В СВЕРХВЫСОКОМ ВАКУУМЕ В ПОТОКЕ МЫШЬЯКА¹

**Дмитрий В. Дмитриев¹, Иван А. Митрофанов¹,
Данил. А. Колсовский², Александр И. Торопов¹,
Константин С. Журавлев^{1,2}**

¹ИФП СО РАН, Новосибирск, Россия

²НГУ, Новосибирск, Россия

Методом дифракции высокогенеретичных электронов на отражении (ДВЭО), *in-situ* изучен процесс трансформации структуры и изменения элементного состава (001)InP в потоке мышьяка в сверхвысоком вакууме. Экспериментально показан процесс замещения фосфора мышьяком в зависимости от условий отжига и формирование слоя InP_xAs_{1-x}. При температуре отжига 500°C в приповерхностном слое замещение фосфора мышьяком составляет 13%, при температуре 540°C – 41%.

Ключевые слова – фосфид индия, отжиг, фосфор, замещение

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 10-02-0513

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ GASB НА ПОДЛОЖКЕ SI (111)¹

Павел В. Жихарев¹, Наталия Л. Шварц^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия

Моделирование формирования кристаллов GaSb на кремниевой подложке методом твердофазной эпитаксии проводилось с использованием кинетической решеточной модели Монте-Карло. Было показано, что зависимость морфологии и плотности нанокристаллов зависит от соотношения потоков галлия/сурьмы и предварительной обработки подложки Si(111). Образование капель жидкого галлия на поверхности на стадии отжига прогнозируется путем моделирования. Для образования кристаллов GaSb необходимо либо заметное превышение потока осажденной сурьмы над потоком галлия на первой стадии твердофазной эпитаксии, либо предварительное осаждение сурьмы на кремниевую подложку.

Ключевые слова – GaSb, нанокластер, отжиг, моделирования, Монте Карло.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-02-00764

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТАДИИ
ЗАВЕРШЕННОСТИ ПРОЦЕССА НИТРИДИЗАЦИИ САПФИРА
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОГО ПУЧКА
ЭЛЕКТРОНОВ¹**

Денис С. Милахин¹, Тимур В. Малин¹, Владимир Г. Мансуров¹,
Юрий Г. Галицын¹, Константин С. Журавлев^{1,2}

¹Институт физики полупроводников им. Ржанова,

Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет,

Новосибирск, Россия

В данной работе с помощью метода ДБЭО была определена оптимальная стадия завершенности нитридизации сапфира с учётом влияния электронного пучка на процесс нитридизации сапфира. Установлено, что в результате нитридизации поверхности сапфира, на оптимальной стадии завершенности на поверхности формируется кристаллическая фаза AlN толщиной около одного монослоя. Рост буферного слоя AlN в условиях оптимальной стадии завершённости процесса нитридизации характеризуется гладкой морфологией поверхности и лучшим кристаллическим совершенством по сравнению с ростом AlN без нитридизации или при избыточной нитридизации сапфира.

Ключевые слова – NH₃-МЛЭ, AlN, нитридизация, инверсионные домены.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-02-0974

КИНЕТИКА ОТЖИГА GAAS УСЛОВИЯХ НЕКОНГРУЭНТНОГО ИСПАРЕНИЯ¹

Анна А. Спирина^{1,2}, Наталия Л. Шварц^{1,2}

¹Институт физики полупроводников СО РАН
им. А. В. Ржанова, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

В данной работе проанализировано влияние ориентации поверхности подложек GaAs на кинетику испарения в условиях неравновесного отжига. Рассматривались подложки с ориентацией (111)A и (111)B. Зависимость кинетики испарения от ориентации подложек проявляется при высоких температурах отжига, при которых на поверхностях GaAs формируется слой жидкого галлия. Показано, что на кинетику испарения GaAs влияет шероховатость поверхности, образование и слияние капель галлия.

Ключевые слова – Ленгмюровское испарение, кинетика отжига, GaAs, Монте-Карло, моделирование.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-31-90023

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ГЛУБОКОЙ ДИФФУЗИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ С НАПРЯЖЕНИЕМ ПРОБОЯ 800 В

Иван Красный, Сергей Акимов, Александр Беркин
**Новосибирский государственный технический университет
(НГТУ), кафедра «Электронных приборов», Новосибирск, Россия**
kr.ivan.work@gmail.com

Для создания ограничителей напряжения (ОН) разработаны процессы легирования примесями (B, Al) для создания диффузионных структур с глубиной р-п перехода до 100 мкм и напряжением пробоя р-п перехода в диапазоне 20 – 800 В и малоемкостных диффузионных структур с удельной емкостью р-п перехода не более 80 пФ/см². Приведены экспериментальные зависимости параметров диффузионных слоев от условий проведения процессов легирования. Получены экспериментальные зависимости электрических параметров р-п переходов (напряжение пробоя и емкости) в зависимости от условий проведения процесса легирования и материала подложки.

Ключевые слова – диффузия бора, диффузия алюминия, диффузия из композиции, полупроводниковые структуры, ограничитель напряжения, напряжение пробоя.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ПЛЕНОК VO₂, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ МЕТОДОМ LP CVD

**Кирилл Е. Капогузов¹, Сергей В. Мутилин¹,
Виктор Я. Принц¹, Любовь В. Яковкина²**

**¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова,
СО РАН, Новосибирск, Россия**

**²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева,
СО РАН, Новосибирск, Россия**

Диоксид ванадия (VO₂) является функциональным материалом перспективным для многих практических применений, в том числе, благодаря большой величине скачка проводимости наблюдаемом при фазовом переходе. Одной из основных задач для материала VO₂ является улучшение его характеристик фазового перехода. В данной работе исследуется влияние послеростового отжига на свойства фазового перехода в двух типах пленок VO₂ синтезированных методом LP CVD на подложках SiO₂/Si: с низким (<10) и высоким (>103) отношением сопротивлений при фазовом переходе. С помощью послойного травления было показано, что оба типа пленок VO₂ не однородны по толщине из-за наличия нестехиометрического слоя VO₂-x. Расположение этого слоя определяет измеряемую из эксперимента величину скачка проводимости пленок VO₂, а также возможность улучшения характеристик фазового перехода в пленках при помощи отжига. В результате установлены условия отжига, увеличивающие величину скачка сопротивления при фазовом переходе до 700 раз. Результаты данной работы перспективны как для использования VO₂ в качестве основы для новых электрических и оптических микро- и наноустройств, так и для изучения физико-химических свойств пленок VO₂ синтезированных методом CVD.

Ключевые слова – Диоксид ванадия, VO₂, фазовый переход металл-изолятор, послеростовой отжиг, послойное травление.

САМОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ РОСТ НИТЕВИДНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ GAAS В ПЕРЕМЕННОМ ПОТОКЕ МЫШЬЯКА¹

Павел В. Шипулин¹, Алла Г. Наставьяк², Наталия Л. Шварц²

¹Новосибирский государственный университет,

Новосибирск, Россия

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова

СО РАН, Новосибирск, Россия

Проведено Монте-Карло моделирование импульсного роста нитевидных нанокристаллов (ННК) GaAs в режиме прерывания потока мышьяка. Проанализированы длительности импульсов потока мышьяка и пауз между ними, необходимые для оптимизации условий роста. Для увеличения скорости роста на начальном этапе, когда скорость роста определяется только внешним потоком мышьяка, а вклад реадсорбции в рост мал, рассмотрен режим дополнительной модуляции потока мышьяка. Предложено начинать рост в большом потоке мышьяка и ступенчато его уменьшать в процессе роста. Такой подход позволил увеличить время жизни капли-затравки на вершине ННК при высокой скорости роста кристалла на начальном этапе роста.

Ключевые слова – нитевидный нанокристалл, GaAs, Монте-Карло, моделирование.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-02-00764

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТЖИГА НА ДВИЖЕНИЕ СТУПЕНЕЙ ПРИ ГОМОЭПИТАКСИИ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(100)¹

**Михаил Ю. Есин¹, Александр И. Никифоров^{1,2},
Александр С. Дерябин¹, Вячеслав А. Тимофеев¹**

**¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия**

**²Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Новосибирск, Россия**

В данной работе исследуется движение SA и SB ступеней на поверхности Si(100) в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) Si. Изучение проведено посредством анализа поведения зависимостей интенсивностей рефлексов дифракции быстрых электронов (ДБЭ), соответствующим реконструкциям 2×1 и 1×2 . Сверхструктурную перестройку от двухдоменной к однодоменной поверхности связывают с формированием двухатомных ступеней, что происходит вследствие различных скоростей движения SA и SB ступеней. На основании проведенных исследований были определены условия, при которых происходит сдавивание ступеней. Анализ поведения зависимостей интенсивностей дифракционных рефлексов показал, что увеличение времени, а также температуры отжига способствует более быстрому сближению SA и SB ступеней, но к замедленному восстановлению исходной поверхности. Представленные экспериментальные результаты указывают на то, что разность скоростей движения ступеней зависит от плотности изломов края A ступени.

Ключевые слова – Дифракция быстрых электронов, молекулярно-лучевая эпитаксия, поверхность Si(100), реконструкция, элементарные ступени.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-42-543010

НОВАЯ СТРУКТУРА КРЕМНИЕВОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Сергей Д. Акимов¹, Иван Красный¹,
Дмитрий И. Остертак¹, Анатолий Е. Глушков²
¹Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия
²ОАО "НЗПП с ОКБ", Новосибирск, Россия

В статье описывается уникальная структура кремниевого ограничителя напряжения (ОН), имеющая участок отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС). Эффект ОДС достигается за счёт зависимости напряжения пробоя р-п-перехода с туннельным механизмом пробоя от его площади. Для защиты от перенапряжений в цепях переменного тока в статье исследовано встречное включение двух разработанных структур.

Ключевые слова – Кремниевый ограничитель напряжения, отрицательное дифференциальное сопротивление, механизм туннельного пробоя, смыкание р-п-переходов.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ КРИСТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРКАЛЯЦИИ ОБЪЁМНОГО МОНОКРИСТАЛЛА ZnWO4

**Александр И. Комонов¹, Регина А. Соотс¹,
Владимир Н. Шлегель², Виктор Я. Принц¹**

**¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова
Сибирского отделения Российской академии наук**

**²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского
отделения Российской академии наук**

В работе представлен метод получения двумерных диэлектрических плёнок из объёмного монокристалла ZnWO4. Комбинируя интеркаляцию и ультразвуковую обработку суспензии микрокристаллов ZnWO4 впервые была получена тонкая плёнка ZnWO4 толщиной от 1.5 нм. Показано, что интеркаляция происходит преимущественно через вертикальные дефекты в кристалле. Форма полученных микрокристаллов имеет выраженную правильную огранку характерную осколкам монокристаллов. Представленная методика позволяет расслаивать микрокристаллы до монослойных плёнок. Результаты работы могут быть полезны для создания новых вертикальных гетероструктур из двумерных плёнок. Полученная суспензия из диэлектрических двумерных кристаллов является перспективной для 2д печати для гибкой электроники.

Ключевые слова – ZnWO4, интеркаляция, двумерный монокристалл, атомно-силовая микроскопия.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ОТКЛИК 3D-ПЕЧАТИ
УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕЙ МАТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ
В СУБ-ТГЦ ДИАПАЗОНЕ¹**

Александр В. Бадыин, Григорий Е. Кулешов,
Кирилл В. Билинский, Ксения В. Симонова

**Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия**

В данной статье представлены результаты исследования электромагнитного отклика в суб-ТГц диапазоне частот матричных структур, основанных на углеродсодержащем полимере, полученных методом 3D-печати. Представлены частотные зависимости коэффициента прохождения, комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот 48-258 ГГц. Проведен сравнительный анализ электромагнитных характеристик матричной структуры со сплошным материалом.

Ключевые слова – Аддитивные технологии, матричная структура, электромагнитный отклик, Суб-ТГц.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-32-00810

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБ-ТГЦ ДИОДА С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ¹

Виктория Д. Москаленко,

Александр В. Бадын, Диана А. Пидотова

**Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия**

В статье показаны результаты исследования электрофизических и частотных характеристик полупроводниковой структуры с барьером Шоттки на основе n-GaAs. Представлены вольт-амперные и частотные характеристики в диапазоне 115–257 ГГц. Подтверждена возможность использования таких полупроводниковых структур в качестве детектора Суб-ТГц излучения.

Ключевые слова – Суб-ТГц, барьер Шоттки, детектор, полупроводник.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-32-00810

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ КИРАЛЬНЫЙ МЕТАМАТЕРИАЛ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ

Валентин А. Сейфи^{1,2}, Алексей Е. Гайдук¹, Виктор Я. Принц¹

**¹Институт физики полупроводников им. Н. И. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия**

**²Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**

Исследованы спектральные характеристики киральных метаматериалов на основе массива скрещенных спиралей. Показана возможность большой четвёртого порядка. Предложен новый тип динамически управляемого преобразователя поляризации на основе киральных слоев и решетки.

Ключевые слова – киральность, метаматериал, оптическая активность, диоксид ванадия, поляризация.

ИНДУЦИРОВАННОЕ МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЗАТУХАНИЕ ОСЦИЛЛЯЦИЙ ШУБНИКОВА-ДЕ ГАЗА В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКАХ В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ТРАНСПОРТА¹

**Денис Б. Султанов, Александр Б. Воробьёв,
Анатолий Ф. Булдыгин, Александр И. Торопов
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск,
Россия**

В работе исследуется микроволновый отклик в магнетосопротивлении цилиндрических оболочек с двумерным электронным газом. Было показано, что в баллистическом режиме транспорта под действием микроволнового излучения наблюдается сильное затухание осцилляций Шубникова-де Гааза в таких объектах, как полупроводниковые цилиндрические оболочки. Степень затухания осцилляций зависит от мощности микроволнового излучения.

Ключевые слова – ДЭГ, магнетотранспорт, микроволновый отклик, градиент магнитного поля, цилиндрическая поверхность.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-02-01218

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМОННОГО УСИЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ SIGE КВАНТОВЫХ ТОЧЕК, СОВМЕЩЁННЫХ С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА¹

Никита А. Половников^{1,2},

Владимир А. Зиновьев², Анатолий В. Двуреченский^{2,3}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт физики полупроводников им. Ржанова,

³Новосибирский государственный университет,

В данной работе проведено теоретическое исследование эффекта усиления излучения от квантовых точек при возбуждении плазмонных колебаний в трёхмерных наноостровках серебра, расположенных на поверхности гетероструктуры Ge/Si с квантовыми точками. Было получено, что взаимодействие излучателя с серебряной наночастицей может приводить к значительному увеличению (более чем на порядок) выхода излучения из гибридной структуры.

Ключевые слова – квантовая точка, гетероструктура, излучательная рекомбинация, локализованный плазменный резонанс, серебряная наночастица.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-12-00070

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОРИСТЫМИ ПРОЗРАЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ¹

Владимир В. Осипов, Василий В. Лисенков,

Вячеслав В. Платонов, Егор В. Тихонов

Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

В статье сообщается о ряде новых физических явлений, обнаруженных при исследовании воздействия лазерного излучения на пористые материалы. Данные явления наблюдаются в процессе формирования лазерного факела при интенсивностях значительно ниже порога разрушения монокристалла, что ведёт к образованию иглообразных структур диаметром ~1 мм и высотой ~8 мм на поверхности мишени. Свечение факела сопровождается нерегулярными всплесками интенсивности и откальванием передней поверхности мишени. По-нашему мнению, это явления может быть вызвано переходом от паровой к паро-капельной абляции, что приводит к возрастанию глубины лазерного кратера в 6-8 раз при той же энергии в импульсе. В то же время, паро-капельный режим абляции является главным образом характерен для прозрачных материалов, а паровой режим типичен для материалов, непрозрачных для лазерного излучения. В статье представлены математические модели, объясняющие вышеописанные процессы и факты.

Ключевые слова – лазер, абляция, факел, излучение, паровая фаза, капли, нанопорошок.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00054

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЫ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ И УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ ДЛЯ МЕЖМАШИННЫХ КОММУНИКАЦИЙ В СЕТЯХ 5G¹

Александр В. Лошкарев, Вера Г. Дроздова

**Сибирский государственный университет телекоммуникаций и
информатики, Новосибирск, Россия**

В статье представлено описание теоретических пределов, направленных на проблемы производительности сетей 5-го поколения, физическом уровне и методах управления доступом к беспроводной среде в случае межмашинных коммуникаций. Границы по Шенону в протоколах управления доступом к беспроводной среде представлены как максимально достижимая пропускная способность и минимальные издержки протокола MAC в практических вопросах межмашинных коммуникаций. Это позволит прогнозировать вытеснение трафика в зависимости от входной нагрузки. Представлено моделирование производительности с распределением приоритетного трафика.

Ключевые слова – 5G, PHY, MAC, MTC, пропускная способность, накладные расходы, энергетическая эффективность, пределы производительности.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента РФ № МК-1047.2020.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Сергей А. Алексеевич, Алина В. Бондарева,

Анатолий П. Горбачев, Юрий Н. Паршин

Новосибирский государственный технический университет,

Новосибирск, Россия

В данной статье представлены несколько проектов, связанных с проблемами, возникающими при разработке и реализации компонентов фазированных антенных решеток.

Первая из них посвящена разработке парадигмы для проектирования двухдиапазонных антенн дипольного вида с концевым питанием, в которых излучающие диполи расположены параллельно друг другу, а их центральные точки расположены вдоль прямой линии, как в классических Яги-Уда компоновках. Данная парадигма связана с использованием аппарата аффинного преобразования для анализа многополосных свойств двухдипольных излучателей.

Во второй части освещены результаты исследования реентерабельного синфазного делителя мощности и полосового фильтра. Исследование касается получения синфазных выходных сигналов с использованием анализа матриц характеристического импеданса.

Предлагаемые во втором разделе реентерабельные устройства могут быть использованы при проектировании активных фазированных решеток. Их реализация с использованием технологии печатных плат (ТПП) является хорошо отлаженной.

В последней части описывается новый подход к проектированию печатных антенных решеток, в котором используется интеграция матрицы Батлера и дипольных radiatorов с торцевым питанием. Ключевым элементом в данной компоновке является модифицированный фазовращатель.

Ключевые слова – Двухдиапазонность, диаграмма направленности, симметрирующее устройство, диполь с концевым питанием, делитель мощности, реентерабельная структура, матрица Батлера.

СУБ-ДИСКРЕТИЗАЦИЯ УЗКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

**Сергей Ф. Аткишkin
АО «НИИ «ЭКРАН», Самара, Российская Федерация**

В статье рассматривается способ измерения частоты узкополосного сигнала, заключающийся в предварительном амплитудном предискажении в двух эквалайзерах с противоположным наклоном АЧХ и последующей суб-дискретизацией. Работоспособность метода подтверждается экспериментально.

Ключевые слова – АЦП, БПФ, дискретизация, суб-дискретизация, измерение частоты, частота Найквиста.

АНАЛИЗ РАБОТЫ КСШП ПРИЁМНИКА В МНОГОЛУЧЕВОЙ СРЕДЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ, ПОСТРОЕННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ RAKE

Виталий А. Карболин, Владимир И. Носов, Вячеслав О. Калинин
Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и
Информатики, Новосибирск, Россия

Статья содержит результаты исследования помехоустойчивости радиоприёмного устройства, построенного по технологии Rake при использовании в среде с многолучевым распространением. Приведено сравнение помехоустойчивости с корреляционным приёмником, предложена методика оценки отдельных лучевых компонентов для выбора оптимальных параметров системы радиосвязи. Вид модуляции, применяемый в данном исследовании: двоичная позиционная импульсная модуляция (BPPM).

Ключевые слова – Rake приёмник, схема объединения многолучевых компонентов MRC, UWB, короткоимпульсные сверхширокополосные системы радиосвязи (КСШП), помехоустойчивость.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ СИНФАЗНО-КВАДРАТУРНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКОЙ ФАЗЫ В ПЕТЛЕ И УСИЛИТЕЛЕМ МОЩНОСТИ

Родион Р. Фахрутдинов, Сергей А. Завьялов,

Константин В. Мурасов, Алексей Н. Ляшук

Омский Государственный Технический Университет,

Омск, Россия

При использовании современных спектрально-эффективных видов модуляции, таких как QAM, APSK и др. с высоким значением пик-фаектора требуются усилители линейные мощности. Одним из методов линеаризации является применение синфазно-квадратурной обратной связи, которая позволяет эффективно подавлять интермодуляционные составляющие третьего порядка при условии точного установления фазы в петле. В статье представлены результаты разработки интегрального 5-мВт усилителя мощности диапазона 0.4...30 МГц с синфазно-квадратурной обратной связью и системой автоматической подстройки фазы в петле. Фазовая ошибка не превышает значения 5 градусов. Усилитель с системой линеаризации разработаны в технологическом процессе 180 нм КМОП.

Ключевые слова – Синфазно-квадратурная обратная связь, усилитель мощности, автоматическая подстройка фазы, контур слежения за задержкой, КМОП, фазовый детектор.

ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛНОДУПЛЕКСНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЦЕПЯМ ПИТАНИЯ

**Андрей К. Мовчан, Евгений В. Рогожников, Эдгар М. Дмитриев,
Дмитрий А. Покаместов, Кирилл В. Петровский
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, Томск, Россия**

Системы передачи данных по цепям питания находят широкое применение для систем «умного дома», промышленного интернета вещей, могут быть применены в авиационной и космической технике. Одной из важных проблем систем передачи данных по цепям питания является необходимость повышения спектральной эффективности, поскольку работа возможна в частотном диапазоне до 30 МГц, ограниченном высоким затуханием сигналов на более высоких частотах. Применение технологии полнодуплексной передачи данных по цепям питания позволит до 2 раз повысить спектральную эффективность. В данной статье описаны подходы к реализации данной технологии. Обозначены основные проблемы, с которыми предстоит столкнуться и пути их решения. Предложен наиболее эффективный на наш взгляд подход к компенсации сигнала собственного передатчика в приемном канале.

Ключевые слова – полнодуплексная связь, аналоговая компенсация, цепи питания, система передачи данных, циркулятор.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРЕХПРОВОДНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С УЧЕТОМ МАССОГАБАРИТНОГО КРИТЕРИЯ¹

Антон О. Белоусов

**Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники
Томск, Российская Федерация**

Рассматривается защита аппаратуры от сверхкоротких импульсов (СКИ) за счет модальных фильтров (МФ). Анализируется конструкция трехпроводного микрополоскового МФ. Впервые сформулирован массогабаритный критерий в аналитическом виде для оптимизации МФ с любым количеством проводников. Выполнена его апробация посредством оптимизации трехпроводного МФ по пяти критериям в т.ч. массогабаритному критерию. В результате оптимизации удалось улучшить не только массогабаритные параметры МФ (который ранее оптимизировался по четырем критериям без учета массогабаритного критерия), но также электрические (ослабление СКИ на выходе МФ) и временные (увеличение разностей задержек импульсов разложения) параметры.

Ключевые слова – устройства защиты, модальные фильтры, микрополосковые линии, сверхкороткий импульс, оптимизация, массогабаритный критерий, эвристический поиск, генетические алгоритмы.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-37-90075

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ФИЛАМЕНТОВ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ¹

Григорий Е. Кулешов, Татьяна Н. Шематило, Максим О. Геринг
Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия

В работе представлены результаты исследования электромагнитных характеристик полимерных покрытий с различными концентрациями углеродных наполнителей, изготовленных методом 3D печати. В качестве материалов использовались ABS пластик с добавлением от 1 вес.% до 5 вес.% многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) со средним диаметром 18,6 нм. Приведены частотные зависимости комплексной диэлектрической проницаемости от частоты. Рассчитан электромагнитный отклик от изготовленных материалов.

Ключевые слова – электромагнитный отклик, композиты, МУНТ, диэлектрическая проницаемость, СВЧ.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-02-31421

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАЩИТЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ¹

**Тетерина Д.Д., Дорофеев И.О., Бадын А.В.
Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия**

В работе рассмотрены возможности использования технологии 3D-печати для создания радиопоглощающих покрытий и элементов радиоэлектронного оборудования. Представлены измеренные открытым резонатором частотные зависимости относительных изменений диэлектрической проницаемости филамента для 3D принтера при различных концентрациях нанотрубок в АБС в диапазоне 8-14 ГГц. Измерены квазиоптическим методом относительные изменения диэлектрической проницаемости в диапазоне 115-258 ГГц. Произведен расчет электромагнитного отклика для покрытий в КВЧ диапазоне.

Ключевые слова – Аддитивные технологии, электромагнитный отклик, композиты, КВЧ.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-32-00810

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ИНТЕРВАЛА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПО РАДИАЛЬНОЙ КООРДИНАТЕ В МОДЕЛИ ОТРАЖЕНИЙ ОТ РЕЛЬЕФА¹

Маргарита В. Орешкина

**Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Российская Федерация**

В статье рассматривается метод построения модели отражений от рельефа местности для моделирования помех от поверхности земли. Основой этого метода является преобразование массива исходных данных, рассчитанных с использованием карты местности, в массив с меньшим количеством элементов. Требования к преобразованию зависят от параметров радара, а именно от типа исходящего импульса и методов его обработки.

Ключевые слова – земельные помехи, отражения местности, математическое моделирование, моделирование эхо-сигналов.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-37-90103

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ
РАДИОСИСТЕМ ДЛЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ АВТОНОМНЫХ
ГРУПП БЛА**

**Владимир И. Носов, Вячеслав О. Калинин, Виталий А. Карболин
СибГУТИ, Новосибирск, Российская Федерация**

В настоящей статье рассматриваются особенности моделирования короткоимпульсных сверхширокополосных систем радиосвязи при организации сетей связи в автономных группах беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрены модель радиосистемы и факторы, влияющие на параметры сети связи, возникающие при построении радиосети в подвижной группе беспилотных летательных аппаратов, меняющей свою конфигурацию и высоту в процессе полета. Приведены результаты моделирования такой радиосистемы, сформулированы требования к радиосистеме и рекомендации к её построению.

Ключевые слова – короткоимпульсные радиосистемы, модель сверхширокополосного канала связи, помехоустойчивость радиосистем, сеть связи для автономных беспилотных летательных аппаратов, обработка сверхширокополосных радиосигналов.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ В GPON

Виктор С. Симонов, Александр А. Малявко
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

Нисходящая передача данных в оптической сети выполняется путем широковещательной передачи, тогда как для восходящей передачи необходимо использовать алгоритмы распределения полосы пропускания, чтобы предотвратить столкновение пакетов данных. Такие алгоритмы планирования должны соответствовать многоточечному протоколу управления, что определено в стандарте IEEE 802. Известен ряд алгоритмов распределения пропускной способности для оптических сетей. Целью данной работы является сравнение нескольких существующих алгоритмов, таких как UPCF, Min, RDM (Russian Doll Model). Алгоритмы моделируются с помощью имитатора дискретных событий, реализованного с использованием языка Си и разработанного специально для исследования сетей GPON, обеспечивающих разные классы обслуживания в каждом оптическом сетевом блоке. На основе анализа результатов моделирования формулируются предложения об использовании каждого из алгоритмов для требуемых сочетаний классов обслуживания.

Ключевые слова – Пассивная оптическая сеть, динамическое распределение полосы пропускания, протокол многоточечного управления, моделирование дискретных событий.

**ВЫЯВЛЕНИЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛОЖЕНИЯ
СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ВИТКЕ
НЕСИММЕТРИЧНОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ¹**

Александр В. Носов, Роман С. Суровцев
**Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, Томск, Россия**

В работе выполнено исследование витка меандровой линии (МЛ) задержки с лицевой связью, защищающего от сверхкороткого импульса (СКИ). Приведены результаты детального анализа разложения СКИ и выявлено наличие дополнительного импульса между импульсами мод линии, возникающего из-за асимметрии поперечного сечения структуры. Достигнуто ослабление амплитуды СКИ до 3 раз.

Ключевые слова – Сверхкороткий импульс, модальная фильтрация, четная мода, нечетная мода, защита, меандровая линия задержки.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-37-00339

МАЛОГАБАРИТНАЯ ТЕМ-КАМЕРА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

Александр В. Демаков, Максим Е. Комнатнов

**Кафедра телевидения и управления, Томский государственный
университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия**

В данной работе представлены результаты разработки лабораторного макета ТЕМ-камеры для испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию с рабочим объемом $30\times30\times5$ мм³. Выполнена разработка твердотельной модели ТЕМ камеры на основе анализа различных конструкций согласующих переходов с применением аналитических расчетов и электродинамического моделирования. Изготовлен экспериментальный макет камеры и выполнено его измерение.

Ключевые слова – ТЕМ-камера, интегральные схемы, помехоэмиссия, ЭМС.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИМПУЛЬСЫ ВО ВРЕМЕННОМ ОТКЛИКЕ В МОДАЛЬНОМ ФИЛЬТРЕ С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ВЫРЕЗЕ ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ¹

Мария А. Самойличенко

**Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники Томск, Россия**

Рассматривается улучшение защиты от сверхкороткого импульса (СКИ) с помощью модального фильтра (МФ), полученного за счет вырезания пассивного проводника в опорной плоскости микрополосковой линии. Исследовано влияние асимметрии поперечного сечения на разность задержек мод и амплитуды импульсов разложения. Достигнуто разложение первого и второго импульсов, которые сливались при симметрии. Выявлено появление дополнительных импульсов. Показано, что задержки дополнительных импульсов определяются линейной комбинацией погонных задержек мод линии, умноженных на ее длину. Исследовано влияние граничных условий на концах пассивного проводника при асимметричной структуре. Выявлено появление дополнительных импульсов, амплитуда которых больше амплитуды импульсов трех основных мод. Получено оптимальное значение разноса, между проводниками дающее ослабление в 10.4 раза.

Ключевые слова - модальный фильтр, ультракороткий импульс, электронная аппаратура, устройство защиты, микрополосковая линия.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90033

ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНАЯ МЕАНДРОВАЯ ЛИНИЯ, ЗАЩИЩАЮЩАЯ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ¹

Евгения Б. Черникова, Антон О. Белоусов
**Томский государственный университет систем
управления и радиоэлектроники**
Томск, Российская Федерация

Рассматривается защита радиоэлектронной аппаратуры за счет устройств, работающих по технологии модальной фильтрации. Впервые анализируется возможность модального разложения сверхкороткого импульса в зеркально-симметричной меандровой линии (МЛ) из двух отдельных витков, в которой проводники соединены между собой попарно на одном конце. Представлены результаты квазистатического моделирования временного отклика трех схем соединения МЛ длиной 1 м. Результаты показали улучшение характеристик по сравнению с зеркально-симметричным модальным фильтром, а именно увеличенное значение интервалов времени между импульсами разложения при отсутствии резисторов на одном конце линии.

Ключевые слова – Устройства защиты, зеркально-симметричная меандровая линия, многопроводные линии передачи, сверхкороткий импульс.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90075

ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИЛОВОЙ ШИНЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ЭКРАНИРОВАНИЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА

Рустам Р. Газизов¹, Руслан Р. Газизов¹, Тимур Т. Газизов²,

¹Томский государственный университет систем управления и

радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация

²Томский государственный педагогический университет,

Томск, Российская Федерация

Исследовано распространение сверхкороткого импульса вдоль проводников силовой шины электропитания (СШЭП) с усовершенствованной конструкцией. Использовано дифференциальное и синфазное воздействие сверхкороткого импульса. Получено 8 форм сигналов, распространяющихся вдоль проводников СШЭП. Показано, что при синфазном воздействии получено максимальное значение напряжения 13.569 В. В этом же случае, но при дифференциальном воздействии получен экстремум минимума напряжения равный минус 16.683 В.

Ключевые слова - моделирование, шина питания, ультракороткий импульс, максимальное напряжение, минимальное напряжение

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В СИНФАЗНОМ И ПРОТИВОФАЗНОМ РЕЖИМАХ В ЦЕПЯХ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА¹

Р. Хажибеков, Е. Жечев, В. Костелецкий, А. Заболоцкий
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация

Защита узлов бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата от электромагнитных помех является актуальной проблемой. Одним из наиболее опасных воздействий является помеховый сверхкороткий импульс. Использование известных устройств защиты от кондуктивных помех затруднено рядом противоречивых требований, например, защиты как можно большего числа цепей, малой массы защитного устройства, способности эффективно функционировать 15 лет в условиях космического пространства. Для решения указанных задач предложена защита аппаратуры от сверхкороткого импульса, основанная на модальной фильтрации. В работе представлены результаты разработки устройства для разложения сверхкороткого импульса в цепях высоковольтного питания космического аппарата. Устройство выполнено на основе модальных фильтров с лицевой связью и обеспечивает ослабление сверхкороткого импульса длительностью 0,3 нс в 24,7 раза в синфазном и в 12,3 раза в противофазном режимах возбуждения.

Ключевые слова – Сверхкороткий импульс, связанные линии передачи, шина электропитания, космический аппарат.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90098

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

Евгения Б. Черникова, Антон А. Иванов

**Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, Томск, Россия**

В данной работе рассматривается возможность совершенствования характеристик модальных фильтров (МФ) за счет применения композитных изоляционных материалов с относительной магнитной проницаемостью $\mu_r > 1$. На примере простых двухпроводных структур выполнено тестирование метода для приближенного расчета матриц индуктивности. Выполнено вычисление погонных параметров микрополоскового МФ при изменении μ_r подложки. Получены временные отклики для фильтров различной длины. Показано, что увеличение μ_r подложки позволяет увеличить временные интервалы между импульсами разложения, что может быть использовано для уменьшения габаритов МФ.

Ключевые слова – Защитные устройства, модальные фильтры, микрополосковые линии передачи, сверхкороткий импульс, композитные материалы.

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ С ПОЛИГОНАМИ В ВОЗДУХЕ¹

Индира Ю. Сагиева¹, Талгат Р. Газизов^{1,2}

¹Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники,

²Сочинский научно-технический университет, Сочи, Россия

Выполнен модальный анализ микрополосковой линии с полигонами в воздухе. Сравнены результаты анализа с учётом мод в линиях и без него. Показано, что различие может быть важным для сверхкоротких импульсов.

Ключевые слова – Печатная плата, микрополосковая линия, полигоны, погонные задержки мод, чувствительность, модальный анализ, сверхкороткий импульс.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-37-51017

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ¹

Индира Ю. Сагиева, Александр В. Носов, Роман С. Суровцев

**Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, Томск, Россия**

Представлена математическая температурная модель характеристик передачи и выполнено ее исследование на примере микрополосковой линии передачи. Максимальное изменение характеристик линии при отдельном влиянии изменения температуры от минус 50 °C до 150 °C на каждый из параметров поперечного сечения линии не превышает 1%, а при совместном влиянии на все параметры – 10.76%. Выявлено, что максимальное влияние на изменение характеристик линии оказывает изменение значения относительной диэлектрической проницаемости подложки, при котором максимальное изменение погонных параметров составляет до 10%.

Ключевые слова – климатическая обстановка, температура окружающей среды, термическое расширение, микрополосковая линия, сверхкороткий импульс.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-51017

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ НА ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКЕ¹

Дарья Н. Зима, Александр А. Спектор, Дарья О. Соколова
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

В работе рассмотрен подход к описанию математической модели сигналов поступающих на пространственно-распределенные антенные элементы цифровой антенной решетки в радиолокационных системах. Изучены спектральные и корреляционные характеристики сформированных пространственно-временных процессов и предложен один из возможных способов обработки сигнала, основанный на этих свойствах.

Ключевые слова – Цифровая антенная решетка, пространственно-временной сигнал, двумерный спектр, многомерная обработка сигналов.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-37-90069

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЫЧЕК В ОПОРНОМ ПРОВОДНИКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА¹

Евгений С. Жечев

**Томский Государственный Университет систем управления и
радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация**

Рассматривается влияние скрытых переходных отверстий (СПО) в опорном проводнике на временные и частотные характеристики в четырехслойном зеркально-симметричном модальном фильтре (МФ). Разработан прототип зеркально-симметричного МФ в двух исполнениях: с СПО и без них. Впервые представлены результаты экспериментального исследования влияния СПО на характеристики зеркально-симметричного МФ. Показано разложение сверхкороткого импульса (СКИ) на последовательность импульсов меньшей амплитуды. Выполнена оценка влияния СПО на характеристический импеданс МФ. Получены частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения в диапазоне от 0 до 32 ГГц. Даны практические рекомендации по проектированию многослойных зеркально-симметричных устройств на основе связанных линий. Результаты полезны для дальнейших исследований, поскольку исполнение четырехслойного зеркально-симметричного МФ без СПО уменьшает его стоимость.

Ключевые слова – скрытые переходные отверстия, зеркально-симметричный модальный фильтр, связанные линии, рефлектометрия во временной области, модальная фильтрация, СВЧ измерения.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90098

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ АГЛОМЕРАТОВ НАНОАЛМАЗА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ СУСПЕНЗИЙ¹

Кристина Н. Соловьева, Ольга Б. Кудряшова,

Александр Л. Верещагин, Евгений А. Петров

**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета, Бийск, Россия**

Ультразвуковая обработка супензий, содержащих агломераты наночастиц, может приводить как к дроблению, так и к укрупнению агломератов. Экспериментально установлено, что при длительной ультразвуковой обработке масляных супензий детонационного углерода (4-8 Вт/см²) происходят колебания размеров частиц (укрупнение, дробление, снова значительное укрупнение). В работе предлагаются возможные механизмы, и приводится математическая модель для описания данных процессов.

Ключевые слова – детонационный наноалмаз, дисперсность, ультразвуковая обработка.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-19070 мк

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ПИРОМЕТРА

Надежда С. Чернышева, Антон Б. Ионов, Борис П. Ионов
Омский Государственный Технический Университет, Омск,
Россия

В статье рассматривается круг вопросов, связанных с применением основных идей концепции интеллектуализации для построения измерительных приборов нового поколения в пиromетрии. Показано, что основной проблемой разработанных к настоящему времени методов и средств бесконтактного измерения температуры является отсутствие реального механизма контроля над достоверностью конкретного результата измерения, вследствие чего его истинная неопределенность может быть сильно недооценена. С целью выхода из сложившейся ситуации рассматривается возможность создания и внедрения интеллектуальных пиromетров, реализующих функцию самоконтроля степени влияния внешних и внутренних дестабилизирующих факторов на процесс измерения.

Ключевые слова – пиromетр, интеллектуальный измерительный прибор, информационная избыточность, многоканальная пиromетрия, температура.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СУВР ЛАЗЕРА С ЕМКОСТНОЙ НАКАЧКОЙ В РЕЖИМЕ ПОНИЖЕННОГО ЭНЕРГОВКЛАДА

Илья С. Мусоров¹, Дмитрий Н. Огородников¹,

Дмитрий В. Шиянов², Виктор Б. Суханов²,

Станислав Н. Торгаев^{1,2,3}, Геннадий С. Евтушенко^{1,2,4}

¹Томский политехнический университет, Томск,

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск,

³Томский государственный университет, Томск,

⁴ФГБНУ «Научно-исследовательский институт –

Республиканский исследовательский научно - консультационный центр экспертизы» Министерства науки и высшего образования,
г. Москва

В работе представлены результаты работы Сувр лазера с емкостной накачкой в режиме пониженного энерговклада. Также приведены результаты моделирования высокочастотного источника накачки активных сред на парах металлов с емкостной накачкой. Моделирование источника осуществлялось в программе OrCAD.

Ключевые слова – источник накачки, высокая частота следования импульсов, длительность импульса, пониженный энерговклад, активная среда.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА НА БАЗЕ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПИРОМЕТРИИ

А.Ю. Сидоренко, С.А. Лисаков, А.И. Кин, Е.В. Сыпин
Бийский технологический институт, г. Бийск

Выполнено моделирование работы быстродействующего оптико-электронного прибора обнаружения возгорания на базе метода спектральной пирометрии. Сформулированы аналитические зависимости и получены исходные данные для моделирования, в частности спектральные характеристики тестовых очагов и параметры фотоприемников (PD-24-10 и PD-38). Разработанная компьютерная модель позволяет производить моделирование прибора в широких спектральных диапазонах 1200 – 4800 нм с шагом по длине волны 10 нм, для тестовых очагов пожара с температурой от 800 до 1600 К. Выполнено исследование спектральных диапазонов контроля излучения пожара оптико-электронным прибором. В ходе исследования выделены 6 точек контроля и выбрана элементная база оптико-электронного прибора. Точки контроля имеют следующие длины волны: 1800-1900-2000-3000-3400-3550 нм, максимальная погрешность при использовании данного набора точек составила 10%. В качестве фотоприемников для реализации прибора выбраны PD-19sr, PD-21sr, PD-29, PD-34, PD-38 производства ИоффоЛЕД.

Ключевые слова – спектральная пирометрия, очаг пожара, тепловое излучение, температура, оптико-электронный прибор.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГАЗОВАННОСТИ МЕТАНОМ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

С.А. Лисаков, А.И. Сидоренко, Е.В. Сыпин
Бийский технологический институт, Бийск

В результате выполнения работы проведено компьютерное моделирование загазованности метаном тупиковой выработки угольной шахты. Определены наиболее вероятные сценарии возникновения загазованности метаном в тупиковых выработках угольных шахт, связанные с нарушениями режима работы вентиляции: возникновение загазованности тупиковой выработки при длительной остановке вентилятора местного проветривания; возникновение загазованности тупиковой выработки при отставании вентиляционных труб. Проведен анализ известных подходов к моделированию загазованности выработок угольных шахт. Было предложено использовать для моделирования программный пакет вычислительной гидродинамики Fire Dynamics Simulator (FDS) на базе модели турбулентности Large Eddy Simulation (LES), в приближении малых чисел Маха ($Ma < 0,3$) (дозвуковое приближение) и модели Дидорфа для расчета турбулентной вязкости. Сформулированы аналитические зависимости и определены исходные данные для моделирования: геометрические параметры тупиковой выработки, параметры вентиляции и метановыделения, начальные условия. Проведена проверка адекватности разработанной компьютерной модели на основе экспериментальных данных представленных в литературе. Расчетные и экспериментальные данные о скорости движения воздуха и распределении концентрации метана в выработке удовлетворительно согласуются. Получены и проанализированы данные о скорости движения воздуха и распределении концентрации метана для исследуемых сценариев. Показано изменение концентрации метана в выработке в зависимости от длительности остановки ВМП и при отставании вентиляционных труб.

Ключевые слова – многокритериальный оптико-электронный прибор, загазованность, метан, аварийных ситуация, предаварийная ситуация, угольная шахта.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ В ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

С.А. Лисаков, А.И. Сидоренко, Е.В. Сыпин
Бийский технологический институт, Бийск

В результате выполнения работы проведено компьютерное моделирование запыленности тупиковой выработки угольной шахты. Определен наиболее вероятный сценарий возникновения запыленности тупиковой выработки угольной пылью при работе выемочного комбайна, связанный с остановкой работы системы орошения из-за засорения форсунок. Определяющим фактором, влияющим на запылённость, является режим работы вентиляции и связанная с ним скорость потока воздуха в выработке. Предложено использовать пакет программ вычислительной гидродинамики Fire Dynamics Simulator. Расчеты выполнялись с использованием модели турбулентности Large Eddy Simulation, в приближении малых чисел Маха, модели Дидорфа для расчета турбулентной вязкости и модели на базе дискретно-траекторного метода Эйлера-Лагранжа для описания двухфазного течения. Сформулированы аналитические зависимости и определены исходные данные для моделирования: геометрические параметры тупиковой выработки, параметры вентиляции и пылевыделения, дисперсный состав пыли, начальные условия. Подтверждена адекватность разработанной компьютерной модели на основе соответствия результатов моделирования экспериментальным данным, полученных при испытаниях динамики пылевых аэрозолей на стенде МГГУ – ООО «Шахтпожсервис». Получены и проанализированы результаты моделирования запылённости выработки угольной шахты. Показано распределение массовой концентрации угольной пыли по сечениям выработки при различных значениях расхода воздуха 2,4, 3,6 и 4,8 м³/с. В зоне действия струи вентилятора местного проветривания концентрация угольной пыли существенно выше – до 400 мг/м³ для взвешенной пыли, чем в зоне поступательного движения, что превышает допустимое значение 150 мг/м³. Определен характер изменения концентраций взвешенной и осажденной угольной пыли по длине выработки. В результате анализа дисперсного состава

установлено: основные максимумы функций распределения размеров витающих частиц по массе соответствуют диаметрам частиц 2,5-7 мкм; существенную долю составляют частицы с диаметрами от 20 до 40 мкм; значительное осаждение пыли с диаметром более 50 мкм.

Ключевые слова – моделирование, запыленность, угольная пыль, скорость движения воздуха, тупиковая выработка, Fire Dynamics Simulator.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРОМ ДВУХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ВОЗГОРАНИЯ НА ФОНЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОМЕХ¹

**А.Ю. Сидоренко, Н.Ю. Тупикина,
С.А. Лисаков, А.И. Кин, Е.В. Сыпин**
Бийский технологический институт, г. Бийск

В результате выполнения работы разработан комплексный метод повышения достоверности принятия решения оптико-электронным прибором двух спектральных отношений при обнаружении возгорания на фоне динамических оптических помех. Проведен анализ и выбраны дополнительные информативные параметры для использования в комплексном методе. Сформулированы общие принципы комплексного метода: использование температуры, спектрального коэффициента излучения и параметра, характеризующего динамику изменения коэффициента излучения и температуры как информативных параметров; контроль выполняется в спектральных диапазонах в которых измеряемый спектральный поток излучения очага возгорания существенно отличается от лампы накаливания; информативные параметры являются взаимосвязанными, что должно учитываться при расчете. Сформулированы аналитические зависимости и исходные данные для комбинированного метода определения температуры и спектрального коэффициента излучения. Проведено исследование по оценке точности определения температуры и спектрального коэффициента излучения комбинированным методом для моделируемых и экспериментальных спектров очагов возгорания (пожара) и лампы накаливания. В качестве исходных данных для проведения исследования по оценке точности определения температуры и коэффициента излучения очагов пожара использовались экспериментальные спектральные энергетические светимости тестовых

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00748

очагов пожара ТП-1 – ТП-6. В результате по совокупности полученных данных установлено, что комбинированный метод позволяет определять одновременно температуру источника излучения и его спектральный коэффициент излучения. Погрешность определения как температуры, так и спектрального коэффициента излучения является удовлетворительной, и составляет не более 10% для температуры и не более 15% для коэффициента излучения. Дальнейшие исследования направлены на реализации комплексного метода повышения достоверности принятия решения о наличии возгорания и оптико-электронного прибора на его основе.

Ключевые слова – комплексный метод, оптико-электронный прибор, возгорание, оптическая помеха, температура, коэффициент излучения.

ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ СЛАБОТОЧНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ АКТИВНЫХ ПАРОВ МЕТАЛЛОВ¹

**Павел И. Гембух^{1,2}, Валерий Ф. Федоров¹,
Дмитрий В. Шиянов¹, Николай А. Васнев¹, Максим В. Тригуб¹**

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,

Томск, Россия

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

В работе представлены результаты разработки лабораторного макета с новой конструкцией усилителя яркости для оценки эффективности методов возбуждения активных сред на парах металлов. На примере активной среды на парах меди экспериментально показана возможность реализации слаботочного режима возбуждения. Данный режим работы отличается от типичного режима накачки амплитудой тока возбуждения, которая в этом случае составляет единицы ампер. Получена генерация в слаботочном режиме. КПД по сравнению с типичным режимом возбуждения увеличилось в 2,5 раза.

Ключевые слова – лазер на парах меди, слаботочный режим возбуждения, усилитель яркости, пониженный энерговклад, КПД.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90042

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА В ВЫРАБОТКЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FIRE DYNAMICS SIMULATOR

А.И. Кин, С.А. Лисаков, А.Ю. Сидоренко,

А.И. Сидоренко, Е.В. Сыпин

Бийский технологический институт, г. Бийск

Проведено моделирование пожара в выработке угольной шахты с использованием программного комплекса Fire Dynamic Simulator. Определен наиболее вероятный сценарий протекания пожара, связанный с горением конвейерной ленты в конвейерной выработке угольной шахты. Выбран подход, основанный на моделировании газофазного горения с учетом внутренних процессов, происходящих в материале путем задания удельной скорости выгорания твердого материала. Сфор-мулированы основные аналитические зависимости для проведения моделирования, на основе которых разработана компьютерная модель. В компьютерной модели для описания турбулентного течения при пожаре использован метод крупных вихрей (Large Eddy Simulation, LES). Для расчета турбулентной вязкости используется подсеточная модель Дидорфа. Модель горения представляет собой модель бесконечно быстрой реакции, модель теплового излучения предполагает решение уравнения переноса излучения на базе метода контрольных объемов. В процессе проверки адекватности модели проанализировано влияние скорости вентиляционного потока на скорость распространения пожара, в результате которого выяснено, что при скорости вентиляционного потока от 1,5 до 3 м/с достигается максимальная скорость распространения пожара – 0,017 м/с. В ходе проведенного моделирования выявлено влияние скорости входного потока воздуха на концентрации CO и CO₂. Кроме того, скорость входного потока воздуха существенно влияет на такие параметры, как температура и мощность тепловыделения, максимальный значения составляли от 420 до 670°C и от 2 до 9 МВт соответственно. Длительность развивающейся стадии пожара в зависимости от скорости входного потока воздуха меняется от 300 с до 600 с.

Ключевые слова – моделирование, сценарий протекания пожара, угольная шахта, Fire Dynamic Simulator

АКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА САМООГРАНИЧЕННЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМОВ МЕТАЛЛОВ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА¹

**Константин Ю. Семенов^{1,2}, Валерий Ф. Федоров¹,
Дмитрий В. Шиянов¹, Николай А. Васнев¹, Максим В. Тригуб¹**

**¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,
Томск, Россия**

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

В статье представлена разработка новой конструкции усилителя яркости на парах металлов с разделением функций создания требуемого давления рабочего вещества и нагрева активной зоны между раздельными источниками. Приведена конструкция инвертора для индукционного нагрева дозатора рабочего вещества. Показана конструкция экспериментального макета активного элемента, приведены осциллограммы напряжения, тока и генерации. Даны оценка работоспособности индукционного дозатора для лазера на парах чистых металлов.

Ключевые слова – источники излучения, лазеры на парах металлов, конструкция активного элемента, индукционный нагрев.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90042

ЦИФРОВОЙ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫЙ ПРИБОР НАБЛЮДЕНИЯ БЕЗ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А.А. Голицын^{1,2,3}, Н.А. Сейфи^{1,3}

¹Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск,

**³Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**

В работе описывается активно-импульсный прибор наблюдения, предназначенный для условий ограниченной видимости. Прибор построен на основе ПЗС-фотоприемника со строчным переносом без использования в своей конструкции электронно-оптического преобразователя. В работе приводится описание прибора наблюдения, его особенности и его основные технические характеристики.

Ключевые слова – Стробоскопический просмотр, стробирование по дальности, лазерный излучатель, ПЗС-датчик, обработка изображений.

МНОГОЗОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫМИ ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ¹

**Елизавета С. Чалдина, Андрей К. Мовчан,
Вячеслав В. Капустин, Михаил И. Курячий**

**Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, Томск, Россия**

В работе рассматриваются методы измерения дальности до объектов с использованием активно-импульсных телевизионных измерительных систем. Рассмотренные методы в большей степени основаны на обработке видеокадров, полученных с использованием активно-импульсных систем, при этом методы различаются как по количеству используемых в обработке видеокадров, так и по методам их обработки. Помимо методов обработки видеокадров некоторые их реализации включают в себя новые алгоритмы формирования сигналов для получения изображений в активно-импульсных телевизионных измерительных системах. Также представлены результаты моделирования многозонного метода измерения дальности и произведена экспериментальная оценка его точности.

Ключевые слова – Измерение дальности, активная зона видения, моделирование, обработка видеокадров.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-37-90141

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЭМС-ЭЛЕМЕНТА ПРИЕМНИКА ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ЗЕЕБЕКА

Глеб Д. Демин¹, Ренат З. Хафизов^{2,3},

Евгений А. Фетисов^{1,3}, Николай А. Дюжев¹

**¹Национальный исследовательский университет электронных
технологий (МИЭТ), Москва, Зеленоград, Россия**

²ООО ГрафИмпресс, Москва, Россия

³ООО Меко, Москва, Зеленоград, Россия

В работе исследованы электромеханические свойства двух типов перспективных конструкций мембранныго МЭМС-элемента приемника инфракрасного ИК-излучения на основе наноразмерных переключаемых термопар – с расположением управляющих электродов на противоположных сторонах квадратной диэлектрической мембраны (конструкция 1) и в случае их локализации вдоль ее períметра (конструкция 2). Расчет показывает, что пороговое напряжение, необходимое для достижения поверхностью мембранны дна полости в подложке, при котором происходит сброс тепла, накопленного в мембране ИК-излучением, и соответствующее переключение микросистемы, практически в 5 раз ниже для второй конструкции МЭМС-элемента, чем для первой. Данная особенность делает эту конструкцию более перспективной не только с точки зрения энергопотребления, но и быстродействия, в силу большей площади соприкосновения мембранны с теплопроводящим слоем, что уменьшает время возвращения МЭМС-элемента в свое исходное состояние. Полученные результаты могут быть применимы для создания матричных фотоприёмных устройств нового поколения, работающих в ИК-диапазоне.

Ключевые слова – МЭМС-технологии, ИК-фотоприемник, наноразмерные термопары, композитные диэлектрические мембранны, электромеханическая деформация.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ К ИСТОЧНИКУ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Дмитрий И. Панфилов¹, Иван И. Журавлев¹,
Михаил И. Петров¹, Ахмед Э. Эльгебалы²**

¹Московский Энергетический Институт, Москва, Россия

²Факультет инженерии, университет Танта, Египет

В данной работе исследуется применение тиристорного регулятора переменного напряжения для асинхронных двигателей и компенсации реактивной мощности. Предлагаемый регулятор представляет собой многофункциональное устройство, способное регулировать переменное напряжение с нулевым содержанием гармоник и, следовательно, высоким качеством электроэнергии. Прибор может контролировать напряжение трехфазных нагрузок для любой фазы индивидуально. В данной работе для управления процессом постановки 3-фазного асинхронного двигателя используется тиристорный регулятор переменного напряжения. Кроме того, регулятор используется для балансировки напряжения на клеммах им, подаваемого от несбалансированной питающей сети, что приводит к повышению производительности и КПД таких двигателей. Кроме того, схема силовой электроники такого регулятора модифицирована таким образом, чтобы он мог работать в качестве компенсатора реактивной мощности путем добавления емкостного элемента.

Ключевые слова – тиристорный регулятор переменного напряжения, пуск асинхронного двигателя, несбалансированное напряжение питания.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫМИ КОМПЕНСАТОРАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ПИ И НЕЧЕТКИМИ ЛОГИЧЕСКИМИ КОНТРОЛЛЕРАМИ

**Ахмед Э. Эльгебалы¹, Дмитрий И. Панфилов²,
Роман Н. Красноперов²**

¹Факультет инженерии, университет Танта, Танта, Египет

²Московский Энергетический Институт, Москва, Россия

В данной статье исследуется алгоритм управления традиционным ПИ и нечеткой логикой, такой как ПИ-регулятор, для регулирования напряжения с использованием дискретных компенсаторов реактивной мощности. Двоичный конденсатор с тиристорной коммутацией BTSC представляет собой дискретный компенсатор реактивной мощности. Параметры ПИ-регулятора определяются в соответствии с параметрами энергосистемы с учетом как скорости, так и стабильности во время управления напряжением с помощью BTSC. Нечеткая логика, такая как контроллер PI, предназначена для управления BTSC с использованием нечетких правил для оценки фактической производительности системы. Анализируется работа спроектированных систем управления для нормального режима и режима неопределенности.

Ключевые слова – двоичный SVC, контроль напряжения, нечеткий PI.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКАМИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АВИАЦИОННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

**Николай А. Симанков^{1,2}, Александр А. Савелов¹,
Сергей П. Халютин^{1,2}, Альберт О. Давидов²**

¹Московский Государственный Технический Университет

Гражданской Авиации, Москва, Россия

**²ООО «Экспериментальная Мастерская НаукаСофт»,
Москва, Россия**

В статье рассматривается практический опыт применения локальных центров управления нагрузками для контроля и прогнозирования состояния электрических приемников в обесточенном состоянии. Исходя из того, что цепи встроенных источников питания содержат компоненты подверженные старению, предварительная регулярная проверка этих цепей может предотвратить неправильную работу потребителей энергии. Контроль, описанный в этой статье, основан на анализе амплитудно-частотной характеристики и определении ее особых диагностических точек.

Ключевые слова – автономные системы электроснабжения, центр коммутации нагрузок, контроль, амплитудно-частотная характеристика.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАБОРАТОРНОГО ОБРАЗЦА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

И.Ю. Семыкина¹, В.М. Завьялов¹, В.Н. Крылов²

**¹Севастопольский государственный университет,
Севастополь, Россия**

**²Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Томск, Россия**

В статье рассматривается лабораторный образец системы беспроводного заряда аккумуляторных накопителей энергии, построенный на основе высокочастотного резонансного преобразователя, с позиций создания на базе рассмотренного технического решения системы беспроводного заряда для мобильных устройств транспорта. Приведены элементы теоретического описания такого устройства, а также описание экспериментальных исследований, включавших себя определение резонансной частоты, исследование системы при смещении катушек резонансного преобразователя и при расположении между катушками преграды, а также оценку общей эффективности системы.

В ходе исследований установлены предварительные зависимости эффективности системы от расстояния между катушками и отклонения их соосности, подтверждено наличие критического расстояния, при достижении которого коэффициент связи катушек резко снижается, что приводит к скачкообразному уменьшению эффективности. Обоснована необходимость выполнения дальнейших исследований с целью уточнения математических зависимостей, описывающих систему. В то же время исследования лабораторного образца показали, что в пределах выделенных ограничений данная система передачи энергии эффективна и может быть масштабирована на системы беспроводного заряда для мобильных устройств транспорта.

Ключевые слова – мобильное устройство транспорта, система беспроводного заряда, резонансный преобразователь, воздушный трансформатор, смещение катушек, эффективность.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
С ИМПУЛЬСНЫМИ НАГРУЗКАМИ ДЛЯ СИСТЕМ
ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ
МОДУЛЕЙ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ
РЕШЕТОК (ППМ АФАР) РЛС**

Владимир Ф. Дмитриков¹, Дмитрий В. Шушпанов¹,

Александр Ю. Петроченко², Зинаида В. Зайцева¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций, Санкт-Петербург, Россия,

²ОАО «Концерн» Научно-производственное объединение
«Аврора», Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрено принципиальное отличие ПН ИВЭП для ППМ АФАР с импульсной нагрузкой от преобразователя, постоянно потребляющего мощность. Показано, что методы улучшения качества переходных процессов в преобразователе с постоянным потреблением мощности при пуске и отключении не применимы для улучшения качества переходных процессов в периодических импульсах тока, вызванных импульсной нагрузкой. Рассмотрены варианты реализации преобразователей с одноконтурной ООС по выходному напряжению с цепями коррекции и без коррекции с накопительным конденсатором и с двухконтурной ООС по выходному напряжению и току дросселя и с накопительным конденсатором. Показано, что только преобразователи с двухконтурной ООС по выходному напряжению и току дросселя и с накопительным конденсатором обеспечивают требуемое качество электропитания для ППМ АФАР.

Ключевые слова – Приемопередающий модуль (ППМ), активная фазированная антенная решетка (АФАР), источники питания с импульсной нагрузкой, качество выходного напряжения.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Р.В. Козлов¹, В.Г. Букреев², М.В. Нестеришин¹, А.Т. Лелеков^{3,4}

**¹Акционерное общество «Информационные спутниковые
системы» имени академика М.Ф. Решетнева, Железногорск, Россия**

**²Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Томск, Россия**

**³Федеральный исследовательский центр «Красноярский
научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,
Красноярск, Россия**

⁴Сибирский государственный университет, Красноярск, Россия

В статье рассмотрена методика построения имитационной модели системы электропитания (СЭП) космического аппарата (КА). Обоснована актуальность исследований, поставлены задачи разработки и подтверждения адекватности имитационной модели СЭП и её составных частей. Представлены области возможного применения предложенного варианта имитационной модели СЭП и определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова – космический аппарат, система электропитания, солнечная батарея, аккумуляторная батарея, энергопреобразующая аппаратура, имитационная модель, энергетический баланс.

МНОГОУРОВНЕВЫЙ ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ СО СТРУКТУРОЙ, ИНВАРИАНТНОЙ К ЧИСЛУ УРОВНЕЙ ВЫХОДНОЙ КРИВОЙ

**Екатерина Е. Миргородская, Никита П. Митяшин,
Юрий Б. Томашевский, Юрий М. Голембиовский,
Алексей Ю. Мирошниченко, Дмитрий Ю. Луков**

**Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А., Саратов, Россия**

В статье приводится описание трехфазного многоуровневого преобразователя частоты на основе двухканальных импульсных преобразователей, структура силовой схемы которого не зависит от числа уровней выходной кривой. Рассматривается принцип формирования многоуровневой кривой, позволяющий получить оптимальное быстродействие процесса стабилизации выходного напряжения при изменении величины нагрузки и напряжения питающей сети. Приводятся результаты компьютерного моделирования, подтверждающие заявленные преимущества преобразователя.

Ключевые слова – Многоуровневый инвертор, импульсный преобразователь, стабилизация напряжения, реактивная мощность, инвариантность силовой схемы.

БАЛАНСИРОВКА РЕЖИМА ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ДВУНАПРАВЛЕННОГО ТРЕХПОРТОВОГО КОНВЕРТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Дмитрий Ю. Луков, Екатерина Е. Миргородская,
Юрий М. Голембиовский, Юрий Б. Томашевский,
Никита П. Митяшин**

**Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А., Саратов, Россия**

Проведён анализ электромагнитных процессов, протекающих в трехпортовом DC-DC конверторе. Описаны причины появления постоянной составляющей тока намагничивания выходного трансформатора. Показана возможность ее уменьшения и снижения пульсаций токов индукторов за счет применения магнито-связанного индуктора. Представленные материалы могут быть использованы при создании микрогрид.

Ключевые слова – трехпортовый конвертор постоянного тока, двунаправленный режим передачи энергии, трансформатор, накопительные индукторы.

АЛГОРИТМ ОГРАНИЧЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МНОГОЗОННОГО ТРАНЗИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ¹

Алексей В. Удовиченко, Евгений А. Косых
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

Широкое использование асинхронных двигателей (АД) для бытовых и промышленных целей определяется простой и понятной структурой. Сложность разработки и производства энергосберегающих конструкций плавного пуска для высоковольтных АД актуальна из-за наличия глубоких падений напряжения в сети, вызванных большими пусковыми токами с прямым подключением. Для уменьшения пусковых токов в настоящее время используются пусковые схемы частоты и реостата, а также принцип плавного увеличения электропитания, на котором основано многозонное регулирование. В этой статье мы предлагаем алгоритм ограничения пускового тока асинхронных двигателей и способ разработки устройства плавного пуска асинхронных двигателей на основе многозонного транзисторного стабилизатора переменного напряжения с помощью анализа электромагнитных процессов.

Ключевые слова – плавный запуск, алгоритм ограничения тока, регулятор переменного напряжения, многозонное регулирование, однофазный асинхронный двигатель.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00537 мол_а

АНАЛИЗ МАЛОВЕНТИЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С КОММУТИРУЕМЫМИ КОНДЕНСАТОРАМИ¹

Алексей В. Удовиченко, Геннадий С. Зиновьев
**Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**

Анализируется новый тип регуляторов переменного напряжения с коммутируемыми конденсаторами. Представленный в работе конвертор является повышающе-понижающим с синусоидальными входными и выходными токами и характеризуется меньшими величинами установленной реактивной мощности конденсаторов и большим диапазоном регулирования. Приведены результаты эксперимента и получены основные энергетические характеристики и осциллограммы токов и напряжений.

Ключевые слова – компенсатор реактивной мощности, коэффициент гармоник, регулятор переменного напряжения, усиление, гальваническая связь.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00537 мол_а

ТРЕХПОРТОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА БАЗЕ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ¹

**Денис А. Курочкин, Дмитрий А Штейн, Андрей В. Гейст,
Максим Ф. Шандрин, Коробков Д. Владиславович
Новосибирский Государственный Технологический
Университет/ Институт Силовой Электроники,
Новосибирск, Россия.**

В настоящей работе предложена новая схема преобразователя для системы электропитания космического аппарата. Цель данной работы показать особенности расчета схемы и построения системы данным образом. Для проверки, проведен расчет преобразователя и получены величины элементов, а также токовая и напряженческая загрузка элементов.

Ключевые слова – трехпортовый преобразователь, космический корабль, знергопреобразующая аппаратура, повышающий преобразователь.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00258

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ¹

Сергей В. Кучак, Петр А. Бачурин, Сергей А. Харитонов
НГТУ, Новосибирск, Россия

В статье представлена методика определения минимальной величины напряжения в звене постоянного тока и входной индуктивности в системе накопления энергии. Оценка параметров производилась при различном характере нагрузки: активная, индуктивная, активно-индуктивная. Проведено имитационное моделирование рассматриваемой системы электроснабжения, подтверждающее применимость полученных соотношений. Результаты будут полезны при проектировании систем накопления энергии.

Ключевые слова – система накопления энергии, инвертор напряжения, напряжение звена постоянного тока, входная индуктивность, векторные диаграммы.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-38-50028

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ КОНВЕРТЕРОМ ТОКА¹

Владимир И. Попов, Евгений Д. Барапов,

Никита А. Севостьянов

**Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**

В данной работе исследуется метод управления матричным конвертером тока, реализующий алгоритм «релейного» или «гистерезисного» регулирования входным током. Схема преобразователя при таком управлении обеспечивает высокий входной коэффициент мощности и синусоидальное выходное напряжение с регулируемой амплитудой и частотой. В статье дается общее описание предлагаемой системы управления, рассматриваются схемы классического однозвездного и двухзвездного матричных конвертеров тока. Полученные посредством компьютерного моделирования данные представлены в виде графиков зависимостей основных характеристик и сигнальных осциллограмм, подтверждающих работоспособность схем. Выводы по результатам исследования обсуждаются и обобщаются в последних разделах.

Ключевые слова – матричный конвертер тока, коррекция коэффициента мощности, пространственно-векторная ШИМ, коэффициент гармоник.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 8.1327.2014/К

АЛГОРИТМ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ С НЕЛИНЕЙНЫМ КАНАЛОМ ПО ТОКУ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ¹

Никита А. Севостьянов, Роман Л. Горбунов
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

В докладе предложен новый алгоритм управления, позволяющий улучшить показатели качества регулирования напряжения как при автономной работе преобразователей, так и при работе в составе энергосистемы постоянного напряжения. Алгоритм основан на прогнозирующем цифровом управлении по мгновенному току реактора, но отличается введением нелинейной упреждающей связи по току нагрузки, позволяющей компенсировать возмущающие воздействия и регулировать по мгновенному току выходного конденсатора. В предложенной микропроцессорной реализации алгоритма цифровое управление по току конденсатора осуществляется при одном измерении за период коммутации без использования усредняющих фильтров. Не требуется быстродействующий аналого-цифровой преобразователь. Эффективность алгоритма управления подтверждена экспериментально.

Ключевые слова – DC-DC преобразователи, компенсация возмущений по току нагрузки, управление по мгновенному току, управление по току конденсатора, комбинированное управление, цифровое управление.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в рамках научного проекта по гранту Президента Российской Федерации № МК-1676.2020.8

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПИРАЛЬНОЙ ШИНЫ¹

Максим Е. Комнатнов¹, Талгат Р. Газизов^{1,2}

¹Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, Томск, Россия

²Научно-технический университет им. Сириуса, г. Сочи

В работе рассмотрена линия передачи, полученная в результате скручивания двух проводящих и изолирующих пластин. Представлена геометрическая математическая модель на основе аппроксимации спирали цилиндрами. Описана модель для вычисления погонных параметров спиральной линии передачи. Выполнено сравнение спиральной и коаксиальной линий передачи, используя квазистатическое моделирование. Показано, что спиральная линия передачи имеет малую погонную индуктивность и может быть использована в качестве силовой шины электропитания, для передачи высоких значений постоянных токов от источника к потребителю.

Ключевые слова - электромагнитная совместимость, шина, силовая передача, спираль, компьютерная инженерия.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-37-51017

**ТРЕХПОРТОВЫЙ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
С АВТОТРАНСФОРМАТОРОМ ДЛЯ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ¹**

**Дмитрий А. Штейн¹, Сергей В. Классен¹, Татьяна С. Классен²,
Вячеслав С. Коняхин³**

**¹Новосибирский Государственный Технический Университет,
Новосибирск, Россия**

²ООО Интеллектуальные машины, Бердск, Россия

³АО Аэроэлектромаш, Москва, Россия

В данной работе представлена новая топология трехпортового DC-DC преобразователя с автотрансформатором. Разработаны алгоритмы управления для реализации всех необходимых режимов работы схемы в системах электропитания космических аппаратов. Получены аналитические выражения для определения основных параметров преобразователя в каждом режиме работы.

Ключевые слова – многопортовый преобразователь, система электропитания космических аппаратов, DC-DC преобразователь, солнечная батарея, аккумуляторная батарея.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00224

ПОРТАТИВНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ГЕМОСТАЗА¹

Егор Л. Жуков^{1,2}, Федор А. Губарев¹,
Иван И. Тютрин², Юлия В. Дьяченко³

¹Исследовательская школа химических и биомедицинских
технологий, Национальный Исследовательский Томский

Политехнический Университет, Томск, Россия

²ООО «Меднорд-Техника», Томск, Россия

³Сургутский Государственный Университет, Сургут, Россия

В данной работе приводятся результаты разработки портативного прибора для экспресс-оценки функционального состояния системы гемостаза. Проводилась оценка сосудисто-тромбоцитарного гемостаза у здоровых добровольцев сибирской популяции в режиме реального времени. Полученные результаты исследований на портативном приборе сопоставлялись с методом низкочастотной пьезотромбоэластографии (пьезотромбоэластограф АРП-01М «Меднорд», ФСР 2010/09767). Полученные данные показали высокую степень корреляции.

Ключевые слова – фибриногенез, система гемостаза, изкочастотная пьезотромбоэластография, корреляция, агрегация.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-38-50028

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ КОЖНО-ЭЛЕКТРОДНОГО КОНТАКТА ЕМКОСТНЫХ ЭКГ ДАТЧИКОВ¹

**А.И. Моренец¹, Б.Н. Павленко¹, И.А. Лежнина¹,
А.А. Бояхчян¹, Г.С. Евтушенко^{1,2}**

¹Национальный исследовательский Томский

Политехнический Университет

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

**Научно-исследовательский институт – Республиканский
исследовательский научно-консультационный центр экспертизы
Министерства науки и высшего образования**

В статье представлены результаты разработки алгоритма и программы оценки качества ЭКГ сигналов, получаемых с использованием емкостных электродов. Разработанная программа позволяет оценивать качество компенсации нарушения кожно-электродного контакта. Программа включает в себя фильтрацию получаемых сигналов и корреляционное сравнение скорректированных сигналов с сигналом, полученным в отсутствии нарушения контакта.

Ключевые слова – портативный кардиограф, корреляция, ЭКГ, емкостный электрод, кардиология, ишемия, аритмия.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00535

ДВУХЧАСТОТНЫЙ СПЕКЛ-АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ СВЕРТЫВАЕМОСТИ ПЛАЗМЫ КРОВИ¹

Юлия Д. Люшневская, Федор А. Губарев
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет

В статье представлены результаты оценки протромбинового времени плазмы крови методом корреляции цифровых спекл-картин, образованных полупроводниковыми лазерными диодами с длинами волн 635 и 650 нм. Полученные экспериментальные результаты показывают, что используемые в анализе длины волн позволяют получить надежный результат. Изменение коэффициента корреляции на обеих длинах волн практически одинаково. Использование двух источников с последовательным переключением повысит надежность системы и минимизирует случайную ошибку. В статье приведены кривые зависимости коэффициента корреляции от времени и сравнительный график из 15 экспериментов, проведенных с использованием предлагаемой лабораторной установки.

Ключевые слова – Протромбиновое время, коэффициент корреляции, спекл-картина, плазма крови.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-38-50028

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ В МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ¹

**Олег Н. Бодин¹, Анатолий Г. Убиеных¹,
Оксана Е. Безбородова¹, Сергей А. Харитонов²,
Светлана В. Воробьева³, Андрей Ю. Бодин⁴,**

¹Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

**²Носибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**

**³Сибирский государственный университет телекоммуникаций
и информатики, Новосибирск, Россия**

**⁴Российский технологический университет (МИРЭА),
Москва, Россия**

В статье предложен подход к повышению информационной надёжности на основе мультиагентных технологий. Мультиагентные технологии способствуют повышению качества и расширению функциональных возможностей диагностики и лечения в медицинской информационной системе. Суть подхода заключается в следующем: информационное взаимодействие в распределённой медицинской информационной системе осуществляется с помощью «агентов обеспечения информационной надёжности», которые информацию при передаче/приёме инкапсулируют в оболочку, обеспечивающую достоверную передачу информации.

Предложено контролировать состояние передачи/приёма данных между блоками распределённой медицинской информационной системы на основе канального кодирования, обеспечивающего повышение достоверности передачи/приёма двоичных сигналов.

Ключевые слова – медицинская информационная система, мультиагентные технологии, информационная надёжность, канальное кодирование.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-38-50028

СОЗДАНИЕ ДАТЧИКА ПОТОКА НА ОСНОВЕ МЕТЕОДАТЧИКА ВМЕ280

Глеб В. Шевченко, Никита А. Глубоков,

Антон В. Юпашевский, Анна С. Казьмина

Новосибирский государственный технический университет,

Новосибирск, Россия

Используя решения, доступные на рынке предлагается создать датчик потока на основе преобразователя давления емкостного типа. В данной статье обсуждается работа, выполненная в рамках разработки носимого устройства для измерения потока воздуха при дыхании. Были экспериментально получены характеристики вдыхаемого и выдыхаемого человеком воздуха, в частности: скорость потока, его температура и влажность. Основываясь на полученных результатах, была определена возможность использования метеодатчика ВМЕ280 в качестве датчика потока.

Ключевые слова – поток воздуха, носовая полость, датчик емкостного типа.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ СРЕДЫ НА ПОКАЗАНИЯ ДАТЧИКОВ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

**Антон В. Юпашевский, Анна С. Казмина,
Константин А. Мецлер, Глеб В. Шевченко, Никита А. Глубоков
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**

В статье проводится экспериментальное сравнение показаний различных датчиков концентрации углекислого газа при изменении влажности среды в закрытом объёме. Датчики концентрации углекислого газа, используемые в работе, построены на основе технологии абсорбционной спектроскопии. Данный эксперимент является первым шагом в разработке сенсора для капнографа.

Ключевые слова – Концентрация углекислого газа, Влажность среды, абсорбционная спектроскопия.

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧЕВОГО АППАРАТА

Яна А. Берг, Анастасия В. Ненько, Дарья В. Боровикова
Новосибирский Государственный Технический Университет,
Новосибирск, Россия

Предлагается произвести акустический анализ различных параметров речевого аппарата и выявить объективную характеристику для своевременной диагностики патологий голоса на их раннем развитии. В ходе работы проводится исследование следующих параметров: амплитудная модуляция голосового сигнала (Shimmer), частотная модуляция (Jitter) и отношение гармоника-шум (HNR). Для сравнительной оценки голосов здорового человека и больного дисфонией была сделана серия измерений и были посчитаны среднее значение, стандартное отклонение, ошибка для каждого из параметров. С помощью приведенных данных был определен наиболее чувствительный к патологиям параметр голоса. Кроме того, было исследовано влияние микрофона на произведенные записи голосового сигнала и рассчитанные параметры.

Ключевые слова – дисфonia, акустический анализ, воспроизведимость, неинвазивный метод диагностики, микрофон.

БИОНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧС

**Гульмира К. Бердибаева¹, Олег Н. Бодин², Оксана Е. Безбородова²,
Андрей Н. Спиркин², Баянбай Нурлан³, Касымбек А. Ожикенов³**

¹Алма-атинский университет энергетики и связи (АУЭС),

Алматы, Казахстан

²Пензенский государственный университет (ПГУ), Пенза, Россия

³Satbayev University, Алматы, Казахстан

В работе предложен бионический подход к построению системы голосового управления (СГУ) в условиях ЧС. Разработан способ проведения поиско-спасательных работ (ПСР) с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Показано, что СГУ способствует повышению оперативного и надёжного перераспределения ресурсов, востребованных для ликвидации и/или минимизации последствий ЧС. При этом особенностями предлагаемой парадигмы построения СГУ являются: многоканальность формирования речевых команд; фильтрация речевых сигналов на основе преобразования Гильберта-Хуана; использование нейронной сети для распознавания минимальной речевой единицы языковой модели; аутентификация оператора СГУ.

Ключевые слова – системы голосового управления, методы анализа речевых сигналов, проведение поиско-спасательных работ в условиях ЧС.

ПОРТАТИВНЫЙ КАРДИОАНАЛИЗАТОР С РЕГИСТРАЦИЕЙ МНОЖЕСТВЕННЫХ ОТВЕДЕНИЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

**Олег Н. Бодин¹, Михаил Н. Крамм², Руслан Ф. Рахматуллов¹,
Фагим К. Рахматуллов¹, Максим И. Сафонов¹, Андрей Ю. Бодин³**

¹**Пензенский государственный университет, Пенза, Россия**

²**Национальный исследовательский университет "МЭИ",
Москва, Россия**

³**Российский технологический университет (МИРЭА),
Москва, Россия**

В данной работе рассмотрен портативный кардиоанализатор для оценки состояния сердца в условиях свободной активности пациента, включающий регистратор множественных отведений электрокардиосигнала (ЭКС) в виде жилетки с электродами, беспроводной передатчик для работы в сетях третьего и четвертого поколения и вычислительный модуль. Отличительными особенностями на основе защищённых патентами способов неинвазивной кардиодиагностики предлагаемого портативного кардиоанализатора являются: расчёт эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС) пациента; определение критического состояния сердца пациента в реальном масштабе времени и автоматический вызов службы скорой помощи при критическом состоянии сердца пациента.

Ключевые слова – многоканальная информационно-измерительная система неинвазивной кардиодиагностики, портативный кардиоанализатор, множественные отведения электрокардиосигнала, эквивалентный электрический генератор сердца.

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АППАРАТНО-
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДОСТОВЕРНОЙ
ЛОКАЛИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОН
КОЖНОГО ПОКРОВА**

Вячеслав В. Мураускас, Александр М. Фатеев
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

Выдвинута гипотеза о повышении достоверности локализации биологически активных зон кожного покрова в газовой среде при помощи фото регистрации с трех позиций с использованием высокочастотных высоковольтных импульсов в режиме реального времени. В работе запланировано выполнение следующих пунктов: рассмотрение функциональной схемы устройства и диапазонов параметров электрических импульсов, разработка конструкции устройства, обоснование выбора рабочего газа, реализация аппаратно-программного комплекса, разработка программного обеспечения, проведение первичных исследований, по результатам которых будет создан предварительный вариант базы данных.

Ключевые слова – кожный покров, биологически активные зоны, локализация, вынужденное оптические излучение, три позиции, реальное время, высокочастотные высоковольтные импульсы.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАЮЩЕГО СИГНАЛА ДЛЯ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ

Владимир А. Гринкевич

**Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий
РАН, Краснообск, Россия**

В настоящей статье рассматривается проектирование задающего звена для формирования температурного профиля с линейным изменением температуры для обеспечения желаемого изменения температуры за заданное время. В данной работе обсуждается формирование сигнала, подаваемого на вход регулятора температуры для термостолика на основе элемента Пельтье, для обеспечения заданного изменения температуры за определённое время.

Ключевые слова – элемент Пельтье, формирование сигнала, термостолик, температурный профиль, задатчик.

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ МЕТОДОМ СИГНАЛЬНО-АДАПТИВНОЙ ОБРАТНОЙ МОДЕЛИ

Ольга Е. Пауль, Екатерина С. Кучер
**Новосибирский Государственный Технический Университет,
Новосибирск, Россия**

Адаптивные системы векторного управления асинхронными двигателями представляют большой интерес за счет широкого применения асинхронных электроприводом и их нестационарности как объекта управления.

Целью данной работы является синтез системы управления, нечувствительной к сигнальным и параметрическим возмущениям, позволяющей при этом разделить каналы управления частотой вращения ротора и состоянием намагничивания двигателя. Для синтеза такой системы был выбран метод сигнально-адаптивной обратной модели, который позволяет реализовать управление асинхронным двигателем с желаемыми показателями качества переходных процессов с компенсацией влияния возмущений различного рода. Результаты работы подкреплены цифровым моделированием разработанной системы векторного управления асинхронным электроприводом.

Ключевые слова – Сигнально-адаптивная система управления, векторное управление, адаптивная система, асинхронный двигатель.

УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ СДПМ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ МОМЕНТА¹

О.В. Нос¹, Д.А. Штейн¹, Г.С. Леус¹, Н.И. Нос²,
Е.Е. Абрамушкина¹, Е.А. Игнатьев¹

¹Новосибирский Государственный Технический Университет,

²Новосибирский Государственный Университет

Экономики и Управления,
Новосибирск, Россия

В данной статье рассматривается упрощенная методика управления синхронным двигателем с постоянными магнитами (СДПМ) для высокоточных систем позиционирования, обеспечивающая одновременное уменьшение пульсаций от действия гармоник магнитного потока и зубцового момента. Предложенный метод управления повышает точность слежения по положению в низкоскоростных сервоприводах и основывается на известном подходе, использующем параллельное соединение нескольких резонансных составляющих с общепринятым пропорционально-интегральным регулятором скорости (ПИ). В работе также представлены результаты эксперимента для подтверждения работоспособности и эффективности предложенного способа снижения пульсаций скорости.

Ключевые слова - Высокоточный позиционный электропривод на базе СДПМ, гармоники магнитного потока и зубцовый момент, пропорционально-интегрально-резонансный регулятор скорости, снижение пульсаций момента.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00258

МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ВИХРЕВОГО ТИПА С ПОМОЩЬЮ ДВУХ ИЗМЕНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЕЁ ГЕОМЕТРИИ¹

В.А. Костюков, М.Ю. Медведев, Д.Д. Павленко,

А.М. Маевский, Н.К. Полуянович

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Рассматриваются варианты стабилизации частоты вращения ротора перспективной вертикально-осевой ветроэнергетической установки, состоящей из двусвязного статора и ротора с лопастями. Статор в целом является осесимметричной с ротором частью конструкции, а ротор немного заглублен в верхнюю часть статора - раструб.

Эта установка может входить в качестве элемента в комплексную силовую энергетическую установку для дополнительного и аварийного электропитания как стационарных, так мобильных объектов, например, надводных робототехнических комплексов.

В работе предлагается использовать аэродинамический метод стабилизации угловой скорости вращения ротора путем управления положениями двух изменяемых элементов конструкции рассматриваемой установки относительно её статора. В качестве таких элементов могут быть использованы нижняя направляющая структура – один из элементов статора, и аэродинамическая тормозная заслонка. Перестроение положений обоих элементов относительно статора изменяет эффективное сечение взаимодействия входящего в установку ветрового потока с ротором.

Подробно рассмотрена методика синтеза регулятора угловой скоростью вращения ротора. Особенностью этого регулятора является наличие двух каналов управления при одной переменной состояния. Вначале необходимо определить динамические диапазоны регулирования крутящего момента на валу ротора для каждого из

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-08-00473а

изменяемых элементов геометрии. Это позволяет корректно выбрать условие переключения между двумя каналами управления в зависимости от степени отклонения желаемой скорости потока от текущей скорости. На основании уравнения ошибки регулирования второго порядка получен искомый закон управления угловой скоростью вращения ротора.

На примере решения задачи стабилизации угловой скорости с заданными критериями качества проведено моделирование синтезированной системы управления при различных исходных данных. Показано, что построенный регулятор способен эффективно парировать влияние ветровых возмущений в широком диапазоне отклонений текущей скорости от желаемой для данного целевого значения частоты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-08-00473а, от 25/12/2018 на тему: «Разработка и исследование методов оптимизации и управления процессами преобразования энергии в силовых установках комплексного типа, в том числе преобразующими поток сплошной среды».

Ключевые слова – вихревая ветроэнергетическая установка, аэродинамический крутящий момент, изменяемые элементы геометрии, уравнение ошибки регулирования, редуцированные наблюдатели возмущений, стабилизация частоты вращения.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ¹

**Владимир Н. Хмелев, Алексей Н. Сливин,
Роман В. Барсуков, Владислав И. Абросимов
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического университета
им. И.И. Ползунов, Бийск, Россия**

В статье представлены результаты разработки информационной системы, для определения энергии ультразвуковых колебаний. Новая система учитывает акустические и термодинамические свойства, параметры и форму сварочного инструмента, параметры ультразвука. Разработанный алгоритм и новая информационная система, позволяют определять оптимальное время для формирования сварного соединения, мощность ультразвукового воздействия, КПД ультразвукового аппарата в зависимости от ряда параметров. Представлены результаты тестирования новой информационной системы определения энергии ультразвуковой сварки термопластичных материалов.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

**УЗ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ
КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ
БУРЕНИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ¹**

В.Н. Хмелев¹, Р.В. Барсуков¹, В.А. Нестеров¹,
Д.В. Генне, А.Н. Сливин¹

¹Бийский технологический институт (филиал АлтГТУ), г. Бийск

В статье рассматривается проблема повышения эффективности ультразвукового (УЗ) бурения твердых материалов для исследовании грунтов планет, астероидов и других космических тел. Предлагается решение проблемы при помощи разработанного устройства, способного, одновременно с ультразвуковым, осуществлять воздействие при помощи низкочастотных макроколебаний и вращательного движения рабочей кромки инструмента. Испытания практической конструкции созданного устройства показали возможность повышения скорости ультразвукового бурения за счет дополнительных низкочастотных колебаний и псевдовращения до 1.5 раз.

Ключевые слова – ультразвук, сверление, малые космические объекты.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ СУШКИ ОВОЩЕЙ И БОБОВЫХ¹

Владимир Н. Хмелев, Андрей В. Шалунов, Виктор А. Нестеров,

Павел П. Тертишников, Сергей А. Терентьев

**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И.И. Ползунов,
Бийск, Россия Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия**

В статье описываются установки для ультразвуковой сушки овощей и гороха, обладающие улучшенными характеристиками за счет установки в них специально разработанного ультразвукового оборудования. Приводятся результаты экспериментальных исследования, подтверждающие высочайшую эффективность сушки в акустическом поле ультразвуковой частоты. Результаты показывают, что максимальная эффективность сушки достигается при осуществлении ультразвукового воздействия совместно с подачей нагретого воздуха (не более 60°C) сушильного агента. При этом обеспечивается снижение самого времени сушки не менее чем на 45%.

Ключевые слова – ультразвуковая сушка, овощи, бобовые, термолабильные вещества, легкоокисляющиеся вещества.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СУШКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ¹

**Владимир Н. Хмелев, Андрей В. Шалунов, Александр С. Боченков,
Сергей А. Терентьев, Виктор А. Нестеров, Павел П. Тертишников**

**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И.И. Ползунова,
Бийск, Россия**

В статье рассматривается экспериментальная сушильная установка. А так же приводятся экспериментальные данные сушки текстильных материалов. Процесс сушки проводился конвективным способом с возможностью добавления ультразвукового воздействия с уровнем звукового давления около 150 дБ. Экспериментальные данные показали эффективность воздействия ультразвука на текстильные материалы особенно на начальном этапе сушки и сокращение времени сушки на 33–37% для синтепуха.

Ключевые слова – ультразвуковая сушка, конвективная сушка, ультразвуковой излучатель

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

УДАРНО-ВОЛНОВАЯ КОАГУЛЯЦИЯ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ В ГАЗОДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ¹

Роман Н. Голых, Виктор А. Нестеров, Павел П. Тертишников,

Андрей В. Шалунов, Владимир Н. Хмелев,

**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И.И. Ползунов,
Бийск, Россия Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия**

В статье представлено возможное решение проблемы очистки газов от дисперсных частиц размером менее 2,5 мкм. Предложенное решение основано на использовании ультразвукового воздействия в ударно – волновом режиме, обеспечивающем повышение эффективности коагуляции субмикронных частиц до 20 раз, в сравнении с синусоидальным ультразвуковым воздействием. В статье рассмотрен один из вариантов практической реализации процесса ударно-волновой коагуляции с помощью разработанных ранее источников УЗ воздействия при создании специальных условий распространения колебаний. Полученные результаты составят основу создания и применения нового класса устройств для улавливания субмикронных частиц при решении проблемы защиты окружающей среды и человека

Ключевые слова – ультразвуковая коагуляция, смог, дым, загрязнение, очистка.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЁТА ОБРАТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАПИЛЛЯРНОГО ЭФФЕКТА В БИОТКАНИ¹

А.И. Шепелева¹, Р.Н. Голых¹, В.В. Педдер², В.Н. Хмелёв¹

**¹Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И.
Ползунова, Россия, Бийск**

**²ООО Научно-производственное предприятие "Метромед",
Омск, Россия**

Для выявления оптимальных режимов ультразвукового воздействия, которые позволяют одновременно обеспечить максимальную эффективность удаления раневого содержимого и безопасность воздействия для человека, а также для расчета инструментов, которые обеспечат высокую эффективность целесообразно разрабатывать информационную систему расчета течения раневого содержимого в биоткани, при заданной геометрии ультразвукового инструмента. Цель работы: разработка информационной системы для расчёта обратного ультразвукового капиллярного эффекта в биоткани – выявление распределения скоростей течения раневого содержимого в биоткани и совокупной скорости удаления раневого содержимого. Разрабатываемая информационная система обязательно должна включать в себя модуль пользовательского интерфейса для ввода исходных данных, модуль расчетов на микроуровне, модуль расчетов на макроуровне, модуль для визуализации результатов расчетов. Поскольку макроскопические уравнения аналитически решить невозможно, но алгоритмы численного решения таких уравнений уже известны, то модуль для решения задачи на макроуровне целесообразно реализовать в САЕ-системе FreeFem++, которая обладает встроенным языком программирования, которая позволит использовать комбинации методов решения уравнения в частных производных. На микроуровне модель является оригинальной и существующие САЕ-системы не позволяют её реализовать, поэтому модуль исполняется на языке программирования. Поскольку

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

специализированных систем сбора данных для данной задачи нет, модуль пользовательского интерфейса разрабатывается на языке программирования. Модуль для визуализации результатов расчетов реализуется в САЕ-системе, так как она имеет встроенное средство визуализации. В результате разработана компьютерная модель процесса течения жидкой фазы в капиллярно-пористой системе под действием сил акустической природы.

Ключевые слова – информационная система, обратный ультразвуковой капиллярный эффект, биоткань.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОАГУЛЯЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ТОНКОМ ПРОМЕЖУТКЕ¹

**Владимир Н. Хмелев, Андрей В. Шалунов,
Александр С. Боченков, Виктор А. Нестеров, Сергей Н. Цыганок
Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И.И. Ползунова,
Бийск, Россия**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований процесса ультразвуковой коагуляции, проведенные на созданном стенде. Проведено определение режимов (уровня звукового давления) и эффективности интенсификации процесса ультразвуковой коагуляции высокодисперсных частиц, по результатам которых выявлено, что на расстоянии равном 1 длине волны происходит ускорение процесса ультразвуковой коагуляции.

Ключевые слова – ультразвук, коагуляция, аэрозоль, излучатель.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-52-53018/20

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЬДА НА РАДИАТОРАХ¹**

Владимир Н. Хмелев¹, Денис С. Абраменко¹, Кирилл П. Орлов²,
Дмитрий В. Генис¹, Виктор А. Нестеров¹, Владислав Ю. Швецов¹

¹Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И.И. Ползунов,
Бийск, Россия

²Национальный научно-технический университет "МИСиС",
Москва, Россия

В статье представлены результаты исследований возможности и эффективности разрушения льда на радиаторе, с помощью интенсивных ультразвуковых колебаний. Для исследуемой конструкции радиатора исследованы возможные места и способу крепления ультразвуковой колебательной системы, а также исследованы несколько конструкций ультразвуковых колебательных систем.

Ключевые слова – лед, разрушение, ультразвук, колебания.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-48-220014

УСТРОЙСТВО УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД¹

**Владимир Н. Хмелев, Роман Н. Голых, Андрей В. Шалунов,
Виктор А. Нестеров, Владислав А. Шакура, Галина А. Боброва,
Павел П. Тертишников, Сергей Н. Цыганок
БТИ АлтГТУ, Бийск, Россия**

Статья посвящена анализу проблемы очистки бытовых и промышленных сточных вод от патогенных микроорганизмов, нежелательных примесей и болезнетворных бактерий. Рассматриваются действующие промышленные решения и приводятся их основные недостатки. Авторами предлагается новая конструкция проточного очистного устройства, основанная на одновременном воздействии на очищаемую жидкость ультразвуковых колебаний высокой интенсивности и озона или озоносодержащего газа

Ключевые слова – очистка, обеззараживание, сточные воды, ультразвук.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-48-220014

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭНЕРГЕТИКУ МЕХАНОДЕСТРУКЦИИ ОЛИГОМЕРОВ¹

**Вячеслав Д. Минаков¹, Роман Н. Голых^{1,2},
Андрей В. Шалунов¹, Владимир Н. Хмелев^{1,2}**

**¹Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета, Бийск, Россия**

**²Центр ультразвуковых технологий ООО АлтГТУ, Бийск,
Россия**

В этой статье описывается исследование влияния ультразвукового воздействия на энергетику механодеструкции олигомеров на примере смолы ЭД-20. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования, позволившие определить зависимость КПД механодеструкции от интенсивности воздействия и установить наличие оптимальной интенсивности.

Ключевые слова – ультразвук, механодеструкция, олигомер, КПД.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-52-53018/20

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО БУРЕНИЯ ТВЁРДОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ¹

Роман Н. Голых^{1,2}, Владимир Н. Хмелев^{1,2}, Евгений А. Еськов¹,

Цзян Шэньюань³, Лю Цзюньвэй³, Цюань Цицюань³

¹Бийский Технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И. И. Ползунова,
г. Бийск, Россия

²Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ, г. Бийск, Россия

³Харбинский Технологический институт, Харбин, Китай

В статье представлена разработанная модель ультразвукового бурения твёрдой породы в условиях на поверхности Луны. Модель позволяет рассчитать скорость ультразвукового бурения, а также скорость испарения следов воды и льда. Результатов расчётов послужили выявленные оптимальные режимы ультразвукового бурения, обеспечивающие максимальную сохранность воды и льда.

Ключевые слова – ультразвук, бурение, твёрдая порода.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-52-53018/20

ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ГАЗОВЫХ СРЕД ПОРШНЕВОГО ТИПА¹

**Владимир Н. Хмелев, Виктор А. Нестеров, Андрей В. Шалунов,
Роман В. Барсуков, Алексей А. Нестеров, Алексей Н. Сливин**

**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И.И. Ползунова,
Бийск, Россия**

Статья посвящена разработке излучателя поршневого типа, предназначенного для ультразвукового воздействия на газодисперсные среды. Основой конструкции такого излучателя служит цилиндрическое тело полуволновой длины, соединенное с электроакустическим преобразователем. Отличительной особенностью излучателя, позволяющей увеличить амплитуду колебаний, является выполнение присоединительной плоскости пред назначенной для возбуждения колебаний, углубленной относительно торцевой поверхности. В результате проведенных исследований был создан ультразвуковой излучатель поршневого типа, способный обеспечить воздействия на газовые среды с интенсивностью не менее 145 дБ при потребляемой мощности не более 90 Вт.

Ключевые слова – ультразвук, газовая среда, ультразвуковой излучатель.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОАГУЛЯЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В СТОЯЧЕЙ ВОЛНЕ¹

**Владимир Н. Хмелев, Виктор А. Нестеров, Андрей В. Шалунов,
Алексей А. Нестеров, Алексей Н. Сливин**

**Бийский технологический институт (филиал) Алтайского
государственного технического университета им. И.И. Ползунова,
Бийск, Россия**

В статье показаны результаты экспериментальных исследований процесса коагуляции высокодисперсных частиц при реализации условий стоячей волны. Полученные данные подтвердили увеличение эффективности коагуляции в режиме стоячей волны и показали возможность реализации такого режима в практических конструкциях. Разработанный экспериментальный стенд позволил исследовать влияние различных условий ультразвукового воздействия на эффективность коагуляции аэрозоля. Установлено, что эффективность установление режима стоячей волны до 2 раз повышает эффективность коагуляции.

Ключевые слова – ультразвук, газовая среда, ультразвуковой излучатель, ультразвуковая коагуляция.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-52-53018/20

МИКРОВОЛНОВЫЙ МАЛОШУМЯЩИЙ КРИОГЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛОВ НА ВЫХОДЕ КВАНТОВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ¹

**Борис И. Иванов, Дмитрий И. Вольхин,
Илья Л. Новиков, Алексей Г. Вострецов
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**

Для измерения параметров сверхпроводниковых квантовых битов разработаны и экспериментально исследованы основные криогенные устройства: сверхширокополосный криогенный фильтр низких частот для цепей смещения магнитного поля и малошумящий криогенный усилитель СВЧ. Криогенный фильтр обладает полосой заграждения до 50 ГГц с уровнем внеполосного подавления более 40 дБ. Криогенный широкополосный усилитель СВЧ обладает коэффициентом усиления более 30 дБ для полосы частот от 6 до 13 ГГц и шумовой температурой менее 10 К. На основе разработанных устройств было проведено экспериментально исследование сверхпроводникового квантового бита (кубита), получены энергетические спектры.

Ключевые слова – СВЧ усилитель, криогенный усилитель, усилитель для квантовых битов.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-02-31601

ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ДЛЯ ГИБКОЙ И ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ¹

Артем И. Иванов, Надежда А. Небогатикова, Ирина В. Антонова
Институт физики полупроводников имени А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия

Резистивная память в настоящее время привлекает большое внимание и рассматривается в качестве перспективной альтернативы существующим видам памяти. Разработка технологий изготовления супензий графена и материалов на его основе, технологий нанесения таких супензий, включая 2D печать, позволяет создавать и исследовать плёнки графена, оксида графена и фторографена на твёрдых и гибких подложках. В настоящей работе рассмотрены свойства композитных пленок, состоящих из фторированного графена с наночастицами V₂O₅ или двухслойных пленок на основе фторированного графена с поливиниловым спиртом, исследованы функциональные параметры тестовых структур, а также, по предварительным результатам, показана принципиальная возможность использовать отдельные частицы в качестве элементов памяти.

Ключевые слова – резистивная память, графен, фторированный графен, гибкая электроника, печатная электроника.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-32-00449

"ПРАВИЛО АДАПТИВНОСТИ" В РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ¹

Илья С. Дымов

Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

Описаны принципы построения гибкой производственной системы и роботизированного комплекса. Представлена обобщенная функциональная схема адаптивной системы управления состоящей из адаптора, регулятора и объекта управления. Приводится основная задача адаптивного управления. Рассмотрены существующие проблемы и перспективы применения роботизированных комплексов в современной промышленности.

Ключевые слова – адаптивное управление, роботизированный комплекс, гибкая производственная система.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-01-31386

MINIATURE DIAGRAM-FORMING SCHEME FOR MARINE APPLICATIONS

Luu Quang Hung

Vietnam Maritime University, Hai Phong, Vietnam

hung.luuquang@vmaru.edu.vn

The article considers a miniature diagram-forming circuit, which is obtained through the use of artificial transmission lines. Standard topology of the Butler matrix, and its area is 9947 mm², this design has a large area not used at all. For this reason, the topology of such a matrix was miniaturized using original artificial lines. The intersection of two microstrip lines is implemented in several layers. The compact Butler matrix on a FR4 substrate and a central frequency of 1000 MHz has an area of 4963.725 mm². As a result, with the use of cells it was possible to reduce the matrix area by half with a relatively small deterioration in the characteristics of the device — the frequency band decreased and the imbalance between the transmission coefficients increased. An additional reduction in size is possible due to a denser arrangement of elements in the inner space. The proposed scheme can find its application as a power supply for small antenna arrays on board ships.

Index Terms – miniaturization, bending, microplane line, artificial line, coupler.

PECULIARITIES OF EQUIPPING AN UNMANNED MEDICAL AERIAL VEHICLES DURING SEARCH AND RESCUE OPERATIONS

**Nurlan A. Bayanbay¹, Kassymbek A. Ozhikenov¹, Yerkebulan A. Tuleshov¹, Oksana E. Bezborodova²,
Oleg N. Bodin², Andrey N. Spirkin²**

¹Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

²FSEI HPE Penza State University, Russia, Penza

The approach to increase the efficiency of emergency medical aid during an emergency situation based on the use of an unmanned aircraft equipped with a medical manipulator and special equipment is reviewed in this article. The approach proposed reduces the time frame for the provision of medical care and significantly increases the possibility of providing medical care during the golden hour.

Index Terms – unmanned aerial vehicle, emergency medical assistance, search and rescue equipment

A NEW APPROACH TO PHYSICAL ENCODING IN VLC DATA TRANSMISSION TECHNOLOGY

Egor A. Grigoryev¹, Alexander E. Baklanov¹,
Svetlana V. Grigoryeva¹, Aslima Zh. Alimkhanova¹,
Vladimir M. Sayun²

¹**East Kazakhstan State Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan**

²**Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
Tomsk, Russia**

The paper proposes a system of data transmission according to VLC technology using new physical encoding. The authors implemented the transfer of symbol data from one personal computer to another using a white lighting LED. The STM32 microcontroller and LED control driver were used for data transmission. Instead of the standard physical encoding approach, where one cycle corresponds to the value of 0 and one cycle corresponds to the value of 1 corresponding to the maximum power of the LED, a new encoding was implemented. This approach determines 0 in binary encoding in two cycles at zero voltage, and at the voltage that provides the maximum power of the LED, identifies 1 in binary notation in two cycles. Although the data transfer rate is reduced, the reliability of using two bits both for 1 and 0 is increased.

Index Terms – free space optics communication, VLC, physical encoding, LED, microcontroller.

MICROGRID VOLTAGE AND FREQUENCY CONTROL USING DROOP CONTROL BASED ON MASTER/SLAVE METHOD

Mojtaba Abbasi, Mehdi Hedayatpour, Alexander G. Garganeev

Tomsk Polytechnic University, Russia

Regina University, Canada

The concepts of a MicroGrid (MG) and distributed generation (DG) are two subjects that have been presented in the areas of electrical distribution systems. The MG is a cluster of various types of DGs working together to transfer a confident, economical, and environmental power. The MG can operate in two independent conditions: connected or islanding modes. Voltage and frequency control of MG is one of the most significant aspects of its stability. Most DG technologies that can be installed in the MG are not suitable for direct connection to the MG due to their power generation characteristics. Therefore, the installation of these units in the MG, using electronic power interfaces is necessary. Hence, the main concern in MG operation is to control power electronic converters. In this paper, droop control based on Master/Slave method was used in the coordinated control structure for voltage and frequency stability. In this method, when the upstream network was disconnected, MG could operate stably in islanding mode then, the voltage and frequency references were provided to other DGs by Master unit. In order to analyze the method proposed, a hybrid microgrid was considered and simulated in DigSILENT Power Factory. The results have shown that the method proposed ensures the performance of MG at emergency conditions such as islanding MG and MG's voltage and frequency remained at acceptable level.

Index Terms – microgrid, droop control, distributed generation

INVESTIGATION OF EXPERIMENTAL IMITATIVE TESTING OF VACUUM CIRCUIT BREAKER

Muhammad Saqib, Yubin Xu, S.A. Aljasar, Natzina Juanita,

Nadine Suzanne

National Research Tomsk Polytechnic University,

Tomsk, the Russian Federation

The main objective of the study is the experimental determination of switching characteristics of the vacuum interrupter phases, which is a crucial part of the high voltage vacuum circuit breaker. Experimental imitative testing is a better method of testing high voltage vacuum circuit breakers. New imitative testing scheme (Vale-Dobker) is designed to test each phase of the vacuum circuit breakers (VCB) in different ranges of high voltage to achieve maximum performance. Experimental study reveals that the Vale-Dobker scheme is better than others. A new imitative method for testing the vacuum circuit breaker has been presented. To determine its switching characteristics, the imitative test circuit by Vale- Dobker was applied, forming on the test object a fault current ranging from 1 to 10 kA and a transient recovery voltage across the contacts of the vacuum chamber up to 20 kV. The results confirm that the imitative controlled switching testing can suppress the current and overvoltage, thus fundamentally improving the efficiency and system safety.

Index Terms – Vacuum interrupter, switching testing, vacuum circuit breakers, test bench, vacuum circuit breaker.

APPROACH TO ESTIMATION OF RADIATED EMISSION FROM CIRCUITS WITH MODAL RESERVATION

Adnan Alhaj Hasan, Alexey A. Kvasnikov, Talgat R. Gazizov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
Tomsk, Russia

Proceeding from the increasing importance of radioelectronic devices, and with an intuitive result, an increased interest in studying and ensuring the electromagnetic compatibility of these devices and especially the critical radioelectronic equipment and systems, a new approach had been applied with a name of "modal reservation". In order to investigate the possible options for different arrangements of circuits with reservation, a lot of research work has to be done on those arrangements taking into account so many criteria and factors including the radiation pattern among them. For analysing printed circuit interconnects, the quasi-static approach has an obvious advantage, since the circuit analysis does not always allow obtaining the results of sufficient accuracy, and the electro-dynamic one requires significant computational costs. Combining these approaches is proposed, using the calculated results of the current and voltage in multiconductor transmission lines structure from the quasi-static approach, in the electrodynamic analysis to calculate the far-zone field components for the radiation pattern from this structure. The novelty of the estimations obtained is determined by the concept of combining the studied approaches in order to get accurate result, and the fact that they have never been performed for circuits with modal reservation in such a complex form. This paper aims at developing a mathematical model and algorithm which allow calculating the field strength from a circuit with modal reservation using currents in circuit conductors obtained by quasi-static analysis. The algorithm implementation showed acceptable coincidence of current distribution and radiation pattern obtained from a simple test structure by the proposed algorithm and electrodynamic analysis.

Index Terms – modal reservation, far field, radiation, quasi-static analysis, multiconductor transmission lines, electromagnetic compatibility.

СОДЕРЖАНИЕ

Колесова А.А., Петров Е.А.	3
Дмитриев Д.В., Митрофанов И.А., Колосовский Д.А., Торопов А.И., Журавлев К.С.	4
Жихарев П.В., Шварц Н.Л.	5
Милахин Д.С., Малин Т.В., Мансуров В.Г., Галицын Ю.Г., Журавлев К.С.	6
Спирина А.А., Шварц Н.Л.	7
Красный И., Акимов С., Беркин А.	8
Капогузов К.Е., Мутилин С.В., Принц В.Я., Яковкина Л.В.	9
Шипулин П.В., Наставъяк А.Г., Шварц Н.Л.	10
Есин М.Ю., Никифоров А.И., Дерябин А.С., Тимофеев В.А.	11
Акимов С.Д., Красный И., Остертак Д.И., Глушков А.Е.	12
Комонов А.И., Соотс Р.А., Шлегель В.Н., Принц В.Я.	13
Бадын А.В., Кулешов Г.Е., Билинский К.В., Симонова К.В.	14
Москаленко В.Д., Бадын А.В., Пидотова Д.А.	15
Сейфи В.А., Гайдук А.Е., Принц В.Я.	16
Султанов Д.Б., Воробьев А.Б., Булдыгин А.Ф., Торопов А.И.	17
Половников Н.А., Зиновьев В.А., Двуреченский А.В.	18
Осипов В.В., Лисенков В.В., Платонов В.В., Тихонов Е.В.	19
Лошкарев А.В., Дроздова В.Г.	20
Алексеев С.А., Бондарева А.В., Горбачев А.П., Паршин Ю.Н.	21
Аткишкин С.Ф.	22
Карболин В.А., Носов В.И., Калинин В.О.	23
Фахрутдинов Р.Р., Завьялов С.А., Мурасов К.В., Ляшук А.Н.	24
Мовчан А.К., Рогожников Е.В., Дмитриев Э.М., Покаместов Д.А., Петровский К.В.	25
Белоусов А.О.	26
Кулешов Г.Е., Шематило Т.Н., Геринг М.О.	27
Тетерина Д.Д., Дорофеев И.О., Бадын А.В.	28
Орешкина М.В.	29
Носов В.И., Калинин В.О., Карболин В.А.	30
Симонов В.С., Малявко А.А.	31
Носов А.В., Суровцев Р.С.	32
Демаков А.В., Комнатнов М.Е.	33

Самойличенко М.А.	34
Черникова Е.Б., Белоусов А.О.	35
Газизов Рустам Р., Газизов Руслан Р., Газизов Т.Т.	36
Хажибеков Р., Жечев Е., Костелецкий В., Заболоцкий А.	37
Черникова Е.Б., Иванов А.А.	38
Сагиева И.Ю., Газизов Т.Р.	39
Сагиева И.Ю., Носов А.В., Суровцев Р.С.	40
Зима Д.Н., Спектор А.А., Соколова Д.О.	41
Жечев Е.С.	42
Соловьева К.Н., Кудряшова О.Б., Верещагин А.Л., Петров Е.А.	43
Чернышева Н.С., Ионов А.Б., Ионов Б.П.	44
Мусоров И.С., Огородников Д.Н., Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С.	45
Сидоренко А.Ю., Лисаков С.А., Кин А.И., Сыпин Е.В.	46
Лисаков С.А., Сидоренко А.И., Сыпин Е.В.	47
Лисаков С.А., Сидоренко А.И., Сыпин Е.В.	48
Сидоренко А.Ю., Тупикина Н.Ю., Лисаков С.А., Кин А.И., Сыпин Е.В.	50
Гембух П.И., Федоров В., Шиянов Д.В., Максимович Т.М.	52
Кин А.И., Лисаков С.А., Сидоренко А.Ю., Сидоренко А.И., Сыпин Е.В.	53
Семенов К.Ю., Федоров В.Ф., Шиянов Д.В., Васнев Н.А., Тригуб М.В.	54
Голицын А.А., Сейфи Н.А.	55
Чалдина Е.С., Мовчан А.К., Капустин В.В., Курячий М.И.	56
Демин Г.Д., Хафизов Р.З., Фетисов Е.А., Дюжев Н.А.	57
Панфилов Д.И., Журавлев И.И., Петров М.И., Эльгебалы А.Э.	58
Эльгебалы А.Э., Панфилов Д.И., Красноперов Р.Н.	59
Симанков Н.А., Савелов А.А., Халютин С.П., Давидов А.О.	60
Семыкина И.Ю., Завьялов В.М., Крылов В.Н.	61
Дмитриков В.Ф., Шушпанов Д.В., Петроченко А.Ю., Зайцева З.В.	62
Козлов Р.В., Букреев В.Г., Нестеришин М.В., Лелеков А.Т.	63
Миргородская Е.Е., Митяшин Н.П., Томашевский Ю.Б., Голембиовский Ю.М., Мирошниченко А.Ю., Луков Д.Ю.	64
Луков Д.Ю., Миргородская Е.Е., Голембиовский Ю.М., Томашевский Ю.Б., Митяшин Н.П.	65
Удовиченко А.В., Косых Е.А.	66
Удовиченко А.В., Зиновьев Г.С.	67

Курочкин Д.А., Штейн Д.А., Гейст А.В., Шандрин М.Ф., Коробков Д.В.	68
Кучак С.В., Бачурин П.А., Харитонов С.А.	69
Попов В.И., Барапов Е.Д., Севостьянов Н.А.	70
Севостьянов Н.А., Горбунов Р.Л.	71
Комнинов М.Е., Газизов Т.Р.	72
Штейн Д.А., Классен С.В., Классен Т.С., Коняхин В.С.	73
Жуков Е.Л., Губарев Ф.А., Тютрин И.И., Дьяченко Ю.В.	74
Моренец А.И., Павленко Б.Н., Лежнина И.А., Бояхчян А.А., Евтушенко Г.С.	75
Люшневская Ю.Д., Губарев Ф.А.	76
Бодин О.Н., Убиенных А.Г., Безбородова О.Е., Харитонов С.А., Воробьева С.В., Бодин А.Ю.	77
Шевченко Г.В., Глубоков Н.А., Юпашевский А.В., Казмина А.С.	78
Юпашевский А.В., Казмина А.С., Мецлер К.А., Шевченко Г.В., Глубоков Н.А.	79
Берг Я.А., Ненько А.В., Боровикова Д.В.	80
Бердибаева Г.К., Бодин О.Н., Безбородова О.Е., Спиркин А.Н., Баянбай Н., Ожикенов К.А.	81
Бодин О.Н., Крамм М.Н., Рахматуллов Р.Ф., Рахматуллов Ф.К., Сафонов М.И., Бодин А.Ю.	82
Мураускас В.В., Фатеев А.М.	83
Гринкевич В.А.	84
Пауль О.Е., Кучер Е.С.	85
Нос О.В., Штейн Д.А., Леус Г.С., Нос Н.И., Абрамушкина Е.Е., Игнатьев Е.А.	86
Костюков В.А., Медведев М.Ю., Павленко Д.Д., Маевский А.М., Полуянович Н.К.	87
Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Абросимов В.И.	89
Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Нестеров В.А., Генне Д.В., Сливин А.Н.	90
Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А., Тертишников П.П., Терентьев С.А.	91
Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Боченков А.С., Терентьев С.А., Нестеров В.А., Тертишников П.П.	92
Голых Р.Н., Нестеров В.А., Тертишников П.П., Шалунов А.В., Хмелев В.Н.	93

Шепелева А.И., Голых Р.Н., Педдер В.В., Хмелёв В.Н.....	94
Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Боченков А.С., Нестеров В.А., Цыганок С.Н.....	96
Хмелев В.Н., Абраменко Д.С., Орлов К.П., Генне Д.В., Нестеров В.А., Швецов В.Ю.....	97
Хмелев В.Н., Голых Р.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А., Шакура В.А., Боброва Г.А., Тертишников П.П., Цыганок С.Н	98
Минаков В.Д., Голых Р.Н., Шалунов А.В., Хмелев В.Н	99
Голых Р.Н., Хмелев В.Н., Еськов Е.А., Цзян Шэньюань, Лю Цзюньвэй, Цюань Цицюань	100
Хмелев В.Н., Нестеров В.А., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Нестеров А.А., Сливин А.Н	101
Хмелев В.Н., Нестеров В.А., Шалунов А.В., Нестеров А.А., Сливин А.Н.....	102
Иванов Б.И., Вольхин Д.И., Новиков И.Л., Вострецов А.Г..	103
Иванов А.И., Небогатикова Н.А., Антонова И.В.....	104
Дымов И.С.....	105
Luu Quang Hung	106
Bayanbay N.A., Ozhikenov K.A., Tuleshov Y.A., Bezborodova O.E., Bodin O.N., Spirkin A.N	107
Grigoryev E.A., Baklanov A.E., Grigoryeva S.V., Alimkhanova A.Zh., Sayun V.M.....	108
Mojtaba Abbasi, Mehdi Hedayatpour, Garganeev A.G	109
Muhammad Saqib, Yubin Xu, S.A. Aljasar, Natzina Juanita, Nadine Suzanne.....	110
Adnan Alhaj Hasan, Kvasnikov A.A., Gazizov T.R.....	111

**XXI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МИКРО/НАНОТЕХНОЛОГИЯМ
И ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРАМ (ЕDM-2020)**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

**г. Новосибирск, 29 июня - 04 июля 2020 г.
Под ред. Гадюкиной А.В.**

Подписано в печать 28.08.2020. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Уч.-изд. л. 6,74. Печ. л. 7,25. Тираж 100 экз. Заказ № 789
Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20