



РФЯЦ-ВНИИЭФ

РОСАТОМ

# «МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ»



## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ XXI НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

САРОВ 2023

ФГУП «Российский федеральный ядерный центр –  
Всероссийский научно-исследовательский институт  
экспериментальной физики»

# МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ



Сборник тезисов  
XXI научно-технической конференции  
24–26 октября 2023 г.

Саров  
2023

УДК 001  
ББК 72  
М75

М75 **Молодежь в науке** : сборник тезисов XXI научно-технической конференции (24–26 октября 2023 г.). – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2023. – 211 с., ил.

В сборник тезисов вошли работы молодых ученых и специалистов РФЯЦ-ВНИИЭФ, филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», РФЯЦ-ВНИИТФ, ВНИИА, ОКБМ, ПО «Старт», ФЭИ, ИОФ РАН, МЦКТ, НИ ТПУ, НИУ МЭИ, НГТУ, СарФТИ НИЯУ МИФИ.

Разнообразие тем докладов охватывает широкий круг вопросов теоретической, математической и экспериментальной физики, физики лазеров, физики высоких плотностей энергии и высокотемпературной плазмы, а также вопросы автоматизированного проектирования сложных систем, технологии создания новых материалов, информационных систем и защиты информации, технологий и др.

УДК 001  
ББК 72

# Секция 1

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ  
И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

## ДЕФОРМАЦИЯ И УСКОРЕНИЕ УГЛЕРОДНОЙ МИШЕНИ СВЕТОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА СВЕРХВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

*Н. А. Андреюк, Н. П. Пятаков, Б. П. Якутов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В работе представлены результаты трехмерных численных расчетов, проведенных по программе PLASMA-3P [1], ускорения ионов углерода и электронов при облучении малоплотных мишеней фемтосекундным лазерным излучением интенсивности  $10^{22}$ – $10^{24}$  Вт/см<sup>2</sup>. Данный диапазон интенсивности ультракороткого лазерного импульса планируется достичь на лазерном комплексе, создаваемом в рамках проекта XCELS [2]. В работе показано, что при воздействии лазерного излучения круговой поляризации интенсивностью от  $10^{22}$  до  $10^{24}$  Вт/см<sup>2</sup> на плоскую углеродную мишень толщиной 0,2 мкм и плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> происходит деформация мишени световым давлением. Электроны и ионы углерода C<sup>6+</sup> под действием светового давления лазерного поля движутся как единый электронно-ионный сгусток. Получены и проанализированы спектры ионов углерода и электронов, ускоряемых совместно световым давлением лазерного излучения в углеродной мишени. Показано, что при увеличении интенсивности лазерного импульса круговой поляризации от  $1 \times 10^{22}$  до  $1 \times 10^{24}$  Вт/см<sup>2</sup> средняя энергия электронов возрастает от  $\approx 4$  МэВ до  $\approx 130$  МэВ, а ионов углерода C<sup>6+</sup> от  $\approx 50$  МэВ до 2600 МэВ. В то же время, при изменении интенсивности в том же диапазоне от  $1 \times 10^{22}$  до  $1 \times 10^{24}$  Вт/см<sup>2</sup> максимальная энергия электронов возрастает от  $\approx 170$  МэВ до  $\approx 1700$  МэВ, а ионов C<sup>6+</sup> – от  $\approx 0,68$  ГэВ до  $\approx 35$  ГэВ.

### Список литературы

1. Андреюк Н. А., Голубев А. И., Пятаков Н. П., Якутов Б. П. Результаты двумерного и трехмерного моделирования ускорения электронов в плазменной кильватерной волне. // Применение лазерных технологий для решения задач по физике высоких плотностей энергии. XX Харито-

новские тематические научные чтения// Труды конференции. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. Т. 1. С. 207–212.

2. Exawatt Center for Extreme Light Studies [Электронный ресурс]: [веб-сайт]. – Электрон.дан. -URL: <https://xcels.iapras.ru/> (дата обращения: 17.05.2022).

## **КОМПОНЕНТ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СТОРОННИХ МОДУЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ В РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ МОДУЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ЛОГОС-ПЛАТФОРМА**

*Е. Д. Беляков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Оптимизация при проведении научных расчетов является важным фактором, который существенно влияет на результаты исследований. Это связано с тем, что научные расчеты могут быть очень сложными и требовательными к вычислительным ресурсам. Оптимизация позволяет ускорить процесс расчетов и снизить затраты на вычислительные ресурсы. Кроме того, оптимизация может повысить точность результатов проводимых расчетов.

Компонент подключения сторонних модулей оптимизации представляет собой программный модуль, реализованный в виде исполняемого модуля обработчика сценария ЛОГОС-Платформа [1]. Компонент обеспечивает единый механизм подключения оптимизаторов в расчетные схемы модульной интеграционной платформы ЛОГОС-Платформа. Подключение внешних алгоритмов оптимизации позволяет расширить круг решаемых оптимизационных задач.

Выбор оптимизационного алгоритма является критически важным при проведении оптимизации, так как различные алгоритмы могут давать разные результаты в зависимости от поставленных задач и ограничений. Некоторые алгоритмы могут быть более эффективными при работе с большими объемами данных, другие – при работе с ограничениями на параметры объекта. Поэтому выбор оптимального алгоритма является ключевым для достижения желаемых результатов и может существенно повлиять на время и затраты на проведение расчетов.

Компонент подключения сторонних оптимизаторов предоставляет возможность выбора оптимизационного алгоритма из списка доступных на этапе настройки расчета, а также возможность настройки параметров выбранного оптимизатора и оптимизационного расчета.

В докладе отображены: описание структуры и бизнес-логики компонента подключения сторонних модулей оптимизации, алгоритм внедрения сторонних оптимизаторов с его использованием.

### **Список литературы**

1. Пакет программ ЛОГОС [Электронный ресурс]. – URL: <http://logos.vniief.ru/products/logos>.

## **ЗАРЯДОВОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В СОЕДИНЕНИЯХ $RFe_2O_4$ В ПРИБЛИЖЕНИИ МОДЕЛИ СРЕДНЕГО ПОЛЯ**

*Д. Г. Ботин, Д. А. Маслов*<sup>1</sup>

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Исследуется зарядовое упорядочение ионов железа в соединениях  $RFe_2O_4$ , где R – редкоземельный элемент. Предложена модель среднего поля с «естественными» параметрами порядка. Показано, что исходная система для определения параметров порядка может быть преобразована в более простую, в зависимости от числа ненулевых параметров порядка. Каждое решение исходной системы определяет зарядовую фазу, среди найденных фаз определяется фаза с наименьшей энергией, по результатам строится фазовая диаграмма. Рассматривается применимость полученных результатов к ферриту лютетия, материалу-мультиферроику.



## **СРЕДСТВА ПОСТОБРАБОТКИ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТИ И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА С МНОЖЕСТВЕННЫМИ СЛУЧАЯМИ НАГРУЖЕНИЯ В ЛОГОС-ПРЕПОСТ**

*О. Ю. Воробьев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Помимо программ для моделирования различных физических процессов в составе пакета программ ЛОГОС развивается препостпроцессор ЛОГОС-Препост для подготовки и обработки задач прочности и тепло-массопереноса. Данный доклад посвящен развитию средств постпроцессинга, а именно постобработке задач с множественными случаями нагружения.

Зачастую, для проведения полномасштабного моделирования узлов и агрегатов разрабатываемых изделий, требуется проведение множества расчетов на всевозможные нагрузки и режимы работы. Как правило, в плане постановки, такие расчеты являются однотипными (в плане сеточной модели, начального распределения веществ и т. д.) и могут отличаться изменением типов или значений задаваемых граничных условий. В свою очередь, по завершении проведения множества таких расчетов, требуется их корректная и эргономичная постобработка для проведения полноценного анализа всей совокупности полученных результатов. Поэтому, была поставлена задача, реализовать постобработку всех результатов, объединенных в пользовательском интерфейсе для навигации по задачам, отражающим состояние модели в процессе расчета. Такие задачи прочности и тепло-массопереноса называют задачами с множественными случаями нагружения или многошаговыми задачами.

В докладе рассматриваются общая концепция и особенности реализации постобработки для случая многошаговых задач, а также приводятся примеры работы ЛОГОС-Препост на стадии постпроцессинга.

## **ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА ПРОГРАММ ЛОГОС**

*Е. А. Губайдулина, Е. Д. Беляков, А. Ю. Власова,  
А. А. Данилова, А. В. Ломтев, Д. А. Тишкин, А. К. Тряпкин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время одним из важнейших инструментов научно-исследовательской деятельности является математическое моделирование. Процесс проведения многодисциплинарных инженерных расчетов становится все более трудоемким и сложным, следовательно, повышаются требования к техническим навыкам пользователя. Современные программные комплексы для математического моделирования имеют высокий порог вхождения, поэтому разрабатываются специализированные программные средства, позволяющие упростить настройку и автоматизировать многие действия пользователя. Авторами работы предложена реализация инструмента для создания специализированных программных средств, обеспечивающих проведение моделирования комплексных расчетных схем в виде отдельного приложения. Приложение позволяет создавать различный графический пользовательский интерфейс и функционал, в зависимости от реализуемой расчетной технологии.

В докладе описан кроссплатформенный инструмент разработки специализированных программных средств, обеспечивающих проведение комплексных расчетов математического моделирования. Создание нового типа приложения или расширение функционала, существующего заключается в создании нового или модификации существующего шаблона. Шаблон проекта однозначно конкретизирует класс решаемых задач: позволяет выделить этапы моделирования и их последовательность, определить необходимые расчетные модули, выполнить предварительную установку шаблонных данных и определить потоки данных, передаваемых между этапами моделирования. Обмен данными между этапами моделирования осуществляется с помощью разработанных для каждого класса задач специализированных скриптов на языке программирования Python.

Данный подход позволяет получить простой и максимально автоматизированный инструмент для подготовки и выполнения сквозного моделирования определенного класса задач. Комплексные расчетные схемы могут быть реализованы на базе расчетных модулей ЛОГОС [1] и расчетных модулей сторонних разработчиков, связи между расчетными модулями обеспечены механизмами ЛОГОС-Платформа.

В докладе отображены: общая архитектура проекта, архитектура клиентской и серверной части, приведено описание структуры шаблона проекта и основных элементов графического интерфейса пользователя.

### **Список литературы**

1. Пакет программ ЛОГОС [Электронный ресурс]. – URL: <http://logos.vniief.ru/products/logos>.

## **РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

*Е. А. Губайдулина*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Многокритериальная оптимизация конструкций оборудования и систем для обеспечения вибропрочностных характеристик представляет собой серию численных исследований с целью параметрической и геометрической оптимизации конструкции, а также оценки чувствительности целевых функций к изменению варьируемых параметров.

Для упрощения процесса подготовки и проведения многокритериальной оптимизации конструкций оборудования и систем для обеспечения вибропрочностных характеристик разработан специализированный графический интерфейс (СГИ), который позволяет настраивать и проводить серию оптимизационных расчетов с автоматическим перестроением сеточной модели с использованием различных оптимизаторов. Также СГИ предоставляет механизмы автоматического извлечения параметрических и геометрических параметров варьирования, анализа результатов в табличном и графическом виде, наложения сеточной модели и экспериментальных данных формата «\*.unv» и пр. Для проведения расчетов СГИ использует оптимизаторы, интегрированные в ЛОГОС-Платформа [1], а также другие программные модули пакета программ ЛОГОС [2].

Специализированный графический интерфейс реализован на базе кроссплатформенного программного обеспечения для создания программных средств для комплексного математического моделирования, разрабатываемого в РФЯЦ-ВНИИЭФ, которое позволяет динамически строить специализированные графические интерфейсы с помощью созданных шаблонов проектов. В шаблоне проекта описаны графические элементы интерфейса, этапы моделирования и их последовательность, используемые программные средства, потоки данных, передаваемые между этапами моделирования и другая информация, необходимая для проведения расчета задач определенных классов.

В докладе отображены: ключевые элементы интерфейса, функциональные возможности, структура и реализация шаблона для динамического построения специализированного графического интерфейса.

### **Список литературы**

1. ЛОГОС-Платформа [Электронный ресурс]. – Программный комплекс ЛОГОС-Платформа. URL: <http://logos.vniief/products/platforma>
2. Пакет программ ЛОГОС [Электронный ресурс]. – URL: <http://logos.vniief.ru/products/logos>.

## **АЛГОРИТМ ПЕРЕНОСА ПОВЕРХНОСТНОЙ СЕТКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАСЧЕТНЫХ СЕТОК ДЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Е. О. Евстифеева*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Численное моделирование течений жидкости или газа, описываемых уравнениями Навье-Стокса, производится на расчетных сетках [1–4], подготовленных по исходной геометрической модели исследуемого объекта. Использование неструктурированных сеток является наиболее универсальным с точки зрения скорости и эффективности подготовки подходом для дискретизации расчетной области. Для учета особенностей определенных классов задач в сетке могут быть выделены зоны для построения частично структурированной сетки, например, сетки из призматических ячеек между близкими поверхностями тонкостенных конструкций. Для формирования призм с однозначно соответствующими основаниями, представленными треугольниками, необходимо произвести предварительную подготовку поверхностной треугольной сетки, а именно перенести (или «пропечатать») треугольники в тонкой зоне с одной из близких поверхностей на другую.

В работе предложен алгоритм переноса поверхностной треугольной сетки на близких поверхностях тонкостенных конструкций. Показаны реализованные возможности по переносу сетки для смещенной поверхности, а также по интерполяции сформированной сетки на исходную поверхность. Описано, как достигается сохранение характерных особенностей модели и высокое качество итоговой сетки в результате переноса сетки на близких поверхностях.

Разработка ведется в рамках развития препроцессора программного модуля ЛОГОС Аэро-Гидро пакета программ для инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования ЛОГОС [5].

### Список литературы

1. Kozelkov A., Kurulin V., Emelyanov V., Tyatyushkina E., Volkov K. Comparison of convective flux discretization schemes in detached-eddy simulation of turbulent flows on unstructured meshes // Journal of Scientific Computing. 2016. Vol. 67. P. 176–191.
2. Sadreghighi I. Mesh generation in CFD. A review – CFD Open Series, Patch 1. 2019. Vol. 86, N 5, P. 405.
3. Смолкина Д. Н., Борисенко О. Н., Черенкова М. В., Гиниятуллина А. Г., Кузьменко М. В., Чухманов Н. В., Потехина Е. В., Попова Н. В., Турусов М. Р. Автоматический генератор неструктурированных многогранных сеток в препроцессоре пакета программ ЛОГОС // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2018. Вып. 2. С. 25–39.
4. Попова Н. В., Борисенко О. Н., Корнеева И. И., Чухманов Н. В., Потехина Е. В., Лазарев В. В., Гиниятуллина А. Г. Автоматический генератор неструктурированных тетраэдральных сеток с призматическими слоями в препроцессоре пакета программ ЛОГОС // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2020. Вып. 1. С. 43–57.
5. ЛОГОС: Пакет программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.logos.vniief.ru](http://www.logos.vniief.ru).

## **РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ DT-МИШЕНИ УВЕЛИЧЕННОГО РАЗМЕРА В КОМПЛЕКСЕ ПРОГРАММ ЛАСМ**

*М. С. Аверин, А. С. Баранова, А. А. Бусалов, А. С. Гнутов,  
И. Ю. Ермакова, В. В. Ляпин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В докладе обсуждаются постановки, методология проведения и результаты двумерных расчетов в комплексе программ ЛАСМ по численному моделированию сжатия мишеней инерциального термоядерного синтеза. Одной из целей данных расчетов является поиск конструкции мишени, оптимизированной под условия облучения в камере перспективной отечественной лазерной установки мегаджоульного класса. Преодоление порога зажигания в мишенях инерциального термоядерного синтеза позволяет достичь плотности энергии порядка  $100 \text{ ГДж/см}^3$  и открывает новые возможности и перспективы по исследованию вещества в экстремальных состояниях. Полученные результаты позволяют сформулировать физические и расчетно-методические проблемы, определить направление их решения, а также обосновать принципиальный облик конструкции мишени.



## ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД БУТСТРЕП ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ А/В ГИПОТЕЗЫ

*Е. Н. Ерофеев, Д. А. Гришин, Ю. С. Иванушкин<sup>1</sup>, С. В. Маерин<sup>1</sup>,  
О. В. Кривошеев<sup>1</sup>*

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Задачи проверки А/В гипотез являются одной из составляющих частей процесса внедрения ИТ (информационные технологий) во все сферы жизнедеятельности, в том числе эти задачи постоянно применяются в бизнес-аналитике для оценки эффективности пилотных проектов. Проверка А/В гипотезы – это статистическая процедура, позволяющая получить вероятностное заключение о том, что после какого-либо воздействия на объект исследования его свойства (параметры объекта) изменились/не изменились. В настоящей работе рассматривается задача проверки А/В гипотезы для заданных выборок А и В, в качестве метрики используется разность средних значений. Выполняется проверка статистической гипотезы о равенстве средних, рассчитываются статистические оценки разности средних и определяются ошибки 1-го и 2-го рода. В статье для решения этой задачи предлагается использовать численный метод бутстрепа, являющийся непараметрическим, что позволяет отказаться от анализа вида распределения выборок и в качестве метрик применять любые статистики. Работоспособность рассматриваемого подхода демонстрируется на примере решения модельной задачи. Приводится краткое описание программы Histogram, разработанной на языке программирования Python, предназначенной для моделирования планируемых и расчета эффективности завершённых пилотных проектов.

## **АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ КЛАСТЕРОВ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В СУБМИКРОННЫХ ТРАНЗИСТОРАХ ШОТТКИ С V-ОБРАЗНЫМ ЗАТВОРОМ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОНИКАЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

*И. Ю. Забавичев, А. А. Потехин, А. С. Пузанов*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

Уменьшение топологических норм изделий микроэлектроники приводит к улучшению их характеристик, в частности уменьшению времени пролета рабочей области аналоговых устройств. С другой стороны, уменьшение топологических норм изделий приводит к тому, что размеры разупорядоченной области – кластера радиационных дефектов – становятся сопоставимыми с размерами активной области современных полупроводниковых приборов. Поэтому для моделирования реакции субмикронных полупроводниковых приборов после воздействия проникающих излучений необходимо учитывать особенности переноса носителей заряда в поврежденных структурах.

Задача анализа переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах после воздействия проникающих излучений предполагает применение в физико-топологических моделях функциональных зависимостей электрофизических параметров от уровней радиационного воздействия. При использовании метода Монте-Карло такими зависимостями являются частоты и углы рассеяния на кластерах радиационных дефектов, так как они выступают в качестве центров рассеяния подвижных носителей заряда. Наибольшее влияние форма потенциала рассеяния оказывает на перенос горячих носителей заряда, так как для термализованных носителей кластер является абсолютно непрозрачным образованием. Проводя анализ экспериментальных зависимостей тока стока субмикронного транзистора Шоттки с V-образным затвором, для различных потенциалов рассеяния, становится возможным оценить концентрацию кластеров радиационных дефектов, образующихся при радиационном воздействии.

В данной работе впервые проведен анализ параметров кластеров радиационных дефектов в субмикронных транзисторах Шоттки с V-образным затвором после воздействия проникающих излучений. Показано, что оценки концентрации кластеров радиационных дефектов являются чувствительными к форме потенциала рассеяния, несмотря на соответствие результатов моделирования для всех исследуемых потенциалов с экспериментальными данными. Данные отличия необходимо учитывать при моделировании реакции субмикронных полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений.

## **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*С. Е. Илларионов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Архитектура RISC-V анонсирована в 2010 году в калифорнийском университете Беркли, является открытой и свободно распространяемой, обладает модульной системой простых и эффективных команд, что позволяет на ее базе разрабатывать гибкие, масштабируемые и энергоэффективные решения.

В докладе рассмотрена структура системы команд RISC-V, приведены достоинства и недостатки архитектуры.

Представлены решения таких компаний как SiFive, Esperanto, Tesla и др., в том числе решения отечественных разработчиков.

На базе доступного процессора архитектуры RISC-V выполнено исследование производительности международных синтетических тестов, представлено сравнение полученных результатов с аналогичными показателями других архитектур RISC-процессоров. На основе анализа полученных результатов собственного тестирования и опубликованных работ независимых разработчиков, приведена оценка возможности построения высокопроизводительных вычислительных систем на базе архитектуры RISC-V.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В ПОЛЕ МАГНИТНОГО КАСПА**

*Г. Н. Колесов, А. Е. Дубинов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Исследована начальная стадия формирования плазменно-пучкового разряда в цилиндрической газоразрядной камере, находящейся во внешнем магнитостатическом поле с резкой неоднородностью – магнитным каспом. Определены динамические и кинетические характеристики пучка и плазмы в вакууммированной камере и этой же камеры, заполненной газообразным гелием. Исследована зависимость концентрации газа в камере на скорость накопления частиц и время зарядовой компенсации плазменно-пучкового разряда.

Компьютерное моделирование динамики пучка проведено с помощью ПС-кода КАРАТ [1]. Вычислены характеристики разряда: фазовые портреты электронного и ионных ассамблей на стадиях процесса развития плазменно-пучкового разряда до и после зарядовой компенсации, электростатический потенциал, пространственный заряд, зависимость числа электронов и ионов в камере от времени.

Обнаружен рост количества электронов и ионов по экспоненциальному закону. Это объясняется тем, что пучковый разряд развивается лавинообразно.

### **Список литературы**

1. User's Manual for Code KARAT. Berkley Res. Associates / Taranov V. P.: Springfield, 1992.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЧАТОГО МОДУЛЯ Nd:YAG УСИЛИТЕЛЯ С ЗИГЗАГООБРАЗНЫМ ХОДОМ ЛУЧЕЙ

*А. С. Копейкин, Г. М. Мищенко*<sup>1</sup>

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В пластинчатых усилителях с зигзагообразным ходом лучей имеют место две проблемы. Первая состоит в том, что при зигзагообразном проходе лазерного пучка по пластинчатому усилителю поглощенная мощность накачки не используется полностью. Вторая проблема заключается в неравномерном нагреве активного элемента. Поскольку коэффициент преломления среды зависит от температуры, то элементарные лучи усиливаемого лазерного пучка будут проходить различные оптические пути. Это приводит к искажению волнового фронта пучка.

В данном докладе представлены результаты численного моделирования пластинчатого модуля Nd:YAG усилителя с зигзагообразным ходом лучей в рамках двумерной геометрии. Аналитически определены значения допустимых углов  $\theta_n$  падения на входе в модуль. Разработан численный алгоритм, моделирующий зигзагообразный ход лучей, написана программа, позволяющая находить факторы заполнения активного объема при двух проходах лазерного пучка по активному элементу. Реализован алгоритм для расчета одномерного профиля удельной мощности накачки в активной области для торцевой накачки с произвольной шириной спектра излучения. Написана программа для нахождения численного решения уравнения теплопроводности в пластинчатом модуле. Разработан и реализован численный алгоритм для моделирования связанных с нагревом активного элемента приращений оптического пути усиливаемого излучения. Проведено параметрическое исследование для пластинчатого модуля Nd:YAG из работы [1]. Рассчитаны потери поглощенной мощности и амплитуды искажений волнового фронта пучка для двух проходов при различных парах углов  $\theta_n$ . Показано, что разработанная методика позволяет подобрать такие пары углов, для которых рассматриваемые величины имеют минимальные значения.

### Список литературы

1. Shin J. S., Cha Y. H., Lim G. et al. "Wavefront improvement in an end-pumped high power Nd:YAG zigzag slab laser"// Optics Express, 2017.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗИРОВКИ 7-КАНАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДИНАМИЧЕСКИМИ ТУРБУЛЕНТНЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ ФАЗЫ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ

*О. А. Кузиков, М. В. Волков, Ф. А. Стариков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Работа посвящена численному исследованию когерентной фазировки 7-канального лазерного излучения на удаленный приемник в динамической турбулентной атмосфере с использованием стохастического параллельного градиентного (СПГ) алгоритма [1] с включением времени транспортной задержки излучения как во время этапа, так и в сдвиг между этапами СПГ алгоритма [2]. Динамика фазового фронта лазерного пучка моделировалась на основе гипотезы Тейлора, учитывающей пространственный сдвиг фазового фронта со скоростью ветра. Пространственный спектр турбулентных искажений соответствовал спектру фон Кармана и характеризовался радиусом когерентности атмосферы (параметром Фрида)  $r_0$ . Эффективность фазировки оценивалась при различном отношении  $r_0$  к размеру субапертуры  $d$  и отношении частоты фазирующей системы  $\nu_{ph}$  к частоте Гринвуда  $\nu_G$ , где  $\nu_{ph}$  – величина, обратная времени достижения числа Штреля 0,8. Получены условия на отношения  $\nu_{ph} / \nu_G$  и  $r_0 / d$ , при которых СПГ фазировка с учетом транспортной задержки обеспечивает уровень числа Штреля  $\sim 0,7$  и выше. Показано, что включение транспортной задержки в сдвиг между этапами позволяет увеличить  $\nu_{ph}$  в 4–5 раз, т. е. позволяет фазировать многоканальное излучение в турбулентной атмосфере с бóльшими значениями частоты Гринвуда.

### Список литературы

1. Гаранин С. Г., Маначинский А. Н., Стариков Ф. А., Хохлов С. В. Фазовая коррекция лазерного излучения с помощью адаптивных оптических систем в РФЯЦ-ВНИИЭФ // Автометрия. 2012. Т. 48, № 2. С. 30–37.
2. Weyrauch T., Vorontsov M. A., Carhart G. W. et al. Experimental demonstration of coherent beam combining over a 7 km propagation path // Optics Letters. 2011. Vol. 36, N 22. P. 4455–4457.

## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ С УЧЕТОМ ЦЕПОЧЕК РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА В ЦИФРОВОМ ПРОДУКТЕ ЛОГОС-ГИДРОГЕОЛОГИЯ

*Г. О. Кузина, М. Л. Сидоров, И. В. Горев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Одной из важных составляющих процесса геомиграции радионуклидов является учет радиоактивного распада с образованием цепочек дочерних радионуклидов. Для учета радиоактивного распада в цифровом продукте (ЦП) ЛОГОС-Гидрогеология реализован специализированный модуль. В данной работе описаны особенности этого модуля, его связь с модулем миграции, на примерах некоторых задач показана работоспособность реализованных методов.

В ЦП ЛОГОС-Гидрогеология модуль расчета радиоактивного распада с учетом цепочек является частью модуля миграции. Данный модуль основан на составлении и решении системы дифференциальных уравнений в матричной форме.

В рамках данной работы рассмотрены различные методы решения задачи распада, выделены и реализованы методы сборки матрицы распада, как в произвольной, так и в нижне-треугольной форме. В качестве методов решения системы дифференциальных уравнений с подготовленной матрицей распада реализованы модифицированный метод Паде (произвольная матрица распада) [1] и метод решения системы распада с построением иерархичной матрицы распада и использованием свойств матричной экспоненты [2].

Верификация методов производилась на задачах, имеющих аналитическое решение (Бейтман, Bauer). Также проводилось сравнение результатов на задачах, не имеющих аналитического решения, с результатами, полученными по стороннему программному обеспечению. Сравнение результатов показало качественное и количественное согласие.

### Список литературы

1. Cleve Moler Charles Van Loan Nineteen Dubious Ways to Compute the Exponential of a Matrix, Twenty-Five Years Later // SIAM REVIEW. 2003. № 1.
2. Ladshaw A., Wiecherta A. I. et al., Algorithms and algebraic solutions of decay chain differential equations for stable and unstable nuclide fractionation // Computer Physics Communications. 2020.



## СРЕДСТВА ПОСТПРОЦЕССИНГА В ПРЕПОСТПРОЦЕССОРЕ ЛОГОС-ПРЕПОСТ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТИ И ТЕПЛОПЕРЕНОСА

*В. В. Кузьмин, В. В. Ломтев, Ю. В. Козачек, Е. В. Нестеров,  
А. Л. Потехин, В. В. Жирнов, О. Ю. Воробьев, П. В. Черенков,  
И. В. Логинов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» г. Саров Нижегородской обл.

Помимо программ для моделирования различных физических процессов в составе пакета программ ЛОГОС [1] развивается препостпроцессор ЛОГОС-Препост для подготовки и обработки задач прочности и тепломассопереноса.

Изначально средства постпроцессинга обеспечивались параллельной системой постобработки ScientificView [2], [3]. Позднее, основные средства постпроцессинга из ScientificView были интегрированы в препостпроцессор ЛОГОС-Препост. Интегрированные средства постпроцессинга позволяют использовать данные всех этапов моделирования для анализа полученных результатов, в частности проводить совместное отображение результатов моделирования и элементов постановки модели.

В докладе обзорно представлены такие возможности как, обеспечение отображения состава результатов расчета в едином дереве модели ЛОГОС-Прочность и ЛОГОС-Тепло, обеспечение загрузки узловых и ячеечных величин, возможность построения различных алгоритмов фильтрации данных и калькуляция величин.

Такой принцип выводит постобработку в ЛОГОС-Препост на качественно новый уровень, поскольку теперь для анализа доступны не только результаты моделирования, но и различные данные, заданные на этапе формирования математической модели.

### Список литературы

1. Пакет программ ЛОГОС [Электронный ресурс]. – URL: <http://logos.vniief.ru/products/logos> .

2. Потехин А. Л., Никитин В. А., Логинов И. В., Кузнецов М. Г., Лопаткин А. И., Жирнов В. В., Черенков П. В., Ломтев А. В., Козачек Ю. В., Ломтев В. В. Пакет программ ЛОГОС. Новые возможности графической постобработки результатов моделирования инженерных задач в параллельной системе постобработки ScientificView / Супервычисления и математическое моделирование» // Сборник трудов. Саров, 2012. С. 481–487.

3. Потехин А. Л., Логинов И. В., Никитин В. А., Кузнецов М. Г., Лопаткин А. И., Жирнов В. В., Черенков П. В., Ломтев А. В. Пакет программ ЛОГОС. Методы графической обработки результатов моделирования инженерных задач / Забабахинские научные чтения // Сборник тезисов. Снежинск: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», 2012.

## АЛГОРИТМ ПОИСКА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ТРЕУГОЛЬНИКОВ В ПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ СЕТКЕ

*А. С. Ларькин, Т. В. Цалко*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Построение качественной поверхностной сетки, а в следствии построение на ней объемной сетки для проведения численного моделирования физических процессов являются одними из наиболее трудоемких и затратных по времени этапов подготовки численной модели в 3D-пространстве.

В препроцессоре пакета программ ЛОГОС [1] для подготовки к моделированию задач аэрогидродинамики реализованы несколько генераторов объемных сеток. Каждый из этих генераторов предъявляет ряд жестких требований к входной поверхностной треугольной сетке, одним из которых является отсутствие в сетке пересекающихся треугольников.

Для выполнения данного требования необходим инструментарий, способный определять пересекающиеся треугольники в поверхностной сетке, чтобы затем их обработать (удалить, перестроить). Для этого существует алгоритм поиска пересечений треугольников. Данный алгоритм является базовым, так как позволяет выявлять проблемные области в поверхностной сетке и исправить их в автоматическом режиме [2], в результате построив корректную поверхностную сетку.

В докладе представлен результат проделанной работы – модернизация алгоритма поиска пересекающихся элементов поверхностной треугольной сетки, в которой учитываются не рассматриваемые ранее особенности, возникающие при поиске пересечений треугольников. Например, учет соседних по ребру/вершине треугольников, которые являются пересекающимися в общем смысле понятия пересечения, но являются корректными для поверхностной треугольной сетки. Также в докладе рассмотрены наиболее распространенные алгоритмы поиска пересечений, приведены результаты сравнения замеров времени работы без использования и с использованием  $k$ -мерного дерева, примеры построения сеток с учетом исправления пересечений треугольников.

### Список литературы

1. ЛОГОС: Пакет программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.logos.vniief.ru](http://www.logos.vniief.ru).

2. Евстифеева Е. О., Панкратов Д. М., Цалко Т. В. Алгоритмы автоматического исправления пересечений, реализованные в генераторе поверхностных треугольных сеток в пакете программ ЛОГОС/Суперкомпьютерное моделирование и искусственный интеллект. Международная конференция «XXII Харитоновские математические научные чтения, 24-27 мая 2021 года» // Сборник научных трудов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2022. С. 170–180.

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЗЕРКАЛА С УПРАВЛЯЕМОЙ КРИВИЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*А. С. Мокеев, Л. М. Лавров, Е. А. Пикалов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время существует интерес к повышению яркости пятна лазерного излучения при передаче на большие расстояния (от 1 до 3 км). Кроме того, в ряде практических задач требуется фокусировать излучение на различных расстояниях. Одним из возможных путей решения данной проблемы является использование фокусирующего зеркала с управляемой кривизной поверхности [1–3], позволяющего менять положение условного фокуса в зависимости от расстояния до объекта, а значит получать значительный выигрыш в яркости [4].

Перед переходом на фокусные расстояния  $\sim 1$  км целесообразно провести оценки на более доступных для исследования расстояниях  $\sim 100$  м.

В данной работе проведены расчетно-экспериментальные исследования модельного варианта конструкции зеркала с управляемой кривизной поверхности [3].

На основе расчетной модели [5], позволяющей в скалярном приближении, с учетом волновой природы света, моделировать отражение лазерного излучения от отражающей поверхности заданной формы, проведено сравнение с экспериментальными данными по яркости и размерам пятна в фокусе зеркала. Показано удовлетворительное согласие экспериментальных и расчетных данных.

### Список литературы

1. Bin-Nun E. and Dothan-Deutsch F. Mirror with adjustable radius of curvature. The Review of Scientific Instruments. 1973. Vol. 44, N 4. P. 512–513.
2. Xiaopeng Xie, Hui Zhao, Emmanuel Hugot, Liang Xu, Sabri Lemared, et al. Elastic bending of Variable Curvature Mirrors: validation of a simplified analytical method. Applied optics, Optical Society of America, 2019.

3. Пат. 202985 U1, РФ, МПК G02B 7/185, G02B 26/08, F21V 7/16. Зеркало с изменяемой кривизной/ Тимаев Д. С., Гаранин С. Г., Рогачев В. Г., Кудряшов Е. А., Качалин Г. Н., Мокеев А. С., Ямщиков В. М. // Бюллетень изобретений. 2021. № 8.

4. Ахманов С. А. Физическая оптика: Учебник. 2-е изд. / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. С. 656.

5. Мокеев А. С. Сравнение методов численного интегрирования в задаче дифракции плоской электромагнитной волны на прямоугольном отверстии / А. С. Мокеев, В. М. Ямщиков // Компьютерная оптика. 2021. Т. 45, № 5. С. 773–778. – Doi: 10.18287/2412-6179-CO-877.

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНОГО И ДВУМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

*М. А. Нестеров, В. А. Глазунов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Использование численной дискретизации уравнений в частных производных позволило добиться значительного прогресса в моделировании задач математической физики [1]. Однако процесс решения таких задач с использованием этого метода требует значительных вычислительных ресурсов. С другой стороны, развитие нейронных сетей показало, что они являются многообещающей альтернативой каноническим численным методам. Тем не менее, для обучения нейронных сетей требуются большие наборы данных, которые не всегда доступны. В результате чего для поиска решений приходится использовать модели на основе неполной информации.

Одним из подходов к обучению моделей с недостаточным количеством данных является обучение на основе физических принципов, которое сочетает входные данные с физическими законами для реализации универсальной модели машинного обучения для задач математической физики. Этот подход известен как *physics-informed neural network (PINN)* [2]. Чтобы минимизировать функцию потерь, PINN аппроксимирует приближенные решения уравнений в частных производных путем обучения нейронной сети. Функция потерь, в свою очередь, учитывает невязку уравнения, начальные и граничные условия.

В данной работе рассматривается применение подхода, основанного на PINN, для решения одномерной и двумерной задачи теплопроводности. Модель искусственной нейронной сети реализована с использованием фреймворка машинного обучения PyTorch [3] на Python. Разработанная модель интегрирована в рамках модуля ЛОГОС-Тепло [4] пакета программ ЛОГОС. Продемонстрировано решение с использованием разработанного метода задач одномерной и двумерной стационарной теплопроводности с различными граничными условиями и внутренним источником энерговыделения. Проведено сравнение с аналитическим решением,

а также с решением, полученным в модуле ЛОГОС-Тепло. В работе исследуется влияние различных конфигураций нейронных сетей и функций активации на сходимость и точность получаемых результатов.

### Список литературы

1. Handbook of Numerical Heat Transfer, Second Edition. Edited by W. J. Minkowycz, E. M. Sparrow and J. Y. Murthy Copyright © 2006 John Wiley & Sons, Inc.

2. M. Raissi et al. Physics-Informed Neural Networks: A Deep Learning Framework for Solving Forward and Inverse Problems Involving Nonlinear Partial Differential Equations, J. Comput. Phys. (2018), <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045>

3. Paszke A. et al. 2019. PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. In Advances in Neural Information Processing Systems 32. Curran Associates, Inc. P. 8024–8035.

4. Цифровой продукт ЛОГОС-Тепло [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://logos.vniief.ru/products/heat>.



**ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНО-НЕРАВНОВЕСНОЙ МОДЕЛИ  
ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ДЛЯ АНАЛИЗА  
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СУБМИКРОННЫХ СТРУКТУРАХ  
«КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ» НА ПРИМЕРЕ ДИОДА ШОТТКИ**

*А. А. Потехин, И. Ю. Забавичев, А. С. Пузанов*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

Для анализа переходных процессов, протекающих в изделиях микро- и наноэлектроники при радиационном воздействии на фундаментальном уровне необходимо изучение переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах в процессе формирования кластеров радиационных дефектов. Указанная проблема имеет большое значение для оптимизации функционирования и внутренней структуры элементов интегральных схем по критерию радиационной стойкости.

Перенос носителей заряда в квазиклассическом приближении, то есть без учета квантово-механических эффектов, может быть описан с использованием кинетического уравнения Больцмана, решаемого совместно с уравнением Пуассона. Однако непосредственное решение этой системы уравнений представляет собой очень сложную математическую задачу. В качестве возможного упрощения можно рассмотреть вариант, заключающийся в том, чтобы использовать при анализе лишь несколько первых моментов усредненной одночастичной функции распределения. В результате для каждого момента записывается свое уравнение баланса, представляющее из себя закон сохранения (изменения) макроскопической физической величины. Аналогично кинетическое уравнение Больцмана для переноса междоузельных атомов и вакансий при воздействии дефектообразующих излучений редуцируется к системе уравнений тепломассопереноса.

Целью данной работы является обоснование и разработка методов моделирования переноса носителей заряда в локально-неравновесном приближении для структур «кремний на изоляторе» с субмикронными рабочими областями после радиационного воздействия.

## **РАЗРАБОТКА И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ АППРОКСИМАЦИИ КРИВЫХ**

*С. А. Рыжов, С. В. Маврин<sup>1</sup>, О. В. Кривошеев<sup>1</sup>*

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В представленной работе выполнена программная реализация расчета и построения NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline – неоднородные рациональные B-сплайны), а также два алгоритма аппроксимации кривых: нативный алгоритм аппроксимации и алгоритм аппроксимации, основанный на интегральной норме. На тестовых примерах кривых был проведен сравнительный анализ данных алгоритмов по метрике Хаусдорфа, кривизне сплайнов и квадратичной разности кривых.

Разработанные математические методы и программное обеспечение реализованы в среде разработки Qt Creator с помощью языка программирования C++, и должны быть частью процесса обмена 2D-данными между программным модулем «Система конструкторского проектирования» комплекса программ в защищенном исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие»» (разработчик РФЯЦ-ВНИИЭФ) и сторонними системами автоматизированного проектирования посредством файлов и открытых и проприетарных форматов.

## СОПРЯЖЕНИЕ БЕЗЬЕ КРИВЫХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

С. А. Рыжов, С. В. Маврин<sup>1</sup>, О. В. Кривошеев<sup>1</sup>

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

На сегодняшний день кривые Безье являются обязательной составляющей геометрического ядра современных систем автоматизированного проектирования (CAD – *Computer Aided Design*). В данной работе предлагаются математические подходы, позволяющие выполнять аппроксимацию сопряжения (соединения) двух и более кривых Безье таким образом, что в точке сопряжения выполняются условия гладкости (непрерывности) до порядка, равного степени заданных Безье кривых. Сопряженные кривые представляются как одна кривая Безье, со степенью равной степени кривой с наибольшим порядком. На полученную кривую могут быть наложены дополнительные ограничения в виде прохождения через заданную точку и равенства производных заданным значениям в этой точке.

Для решения указанных задач формулируется оптимизационная задача с ограничениями в виде равенств, которая решается методом множителей Лагранжа через сведение к системе линейных алгебраических уравнений. В работе приводятся примеры аппроксимаций с учетом ограничений.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРЕКЦИИ ФАЗОВЫХ АБЕРРАЦИЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМОЙ ИЗ ДВУХ АДАПТИВНЫХ ЗЕРКАЛ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ГРАДИЕНТНОГО АЛГОРИТМА

*Д. А. Саламатин*<sup>1,2</sup>, *Ф. А. Стариков*<sup>1,3</sup>, *Р. А. Шнягин*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

<sup>2</sup> Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова в г. Сарове,  
г. Саров Нижегородской обл.

<sup>3</sup> СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров, Нижегородской обл.

Проведено расчетно-теоретическое исследование работы адаптивной оптической системы, состоящей из двух последовательно расположенных адаптивных зеркал размером  $46 \times 56$  мм<sup>2</sup>. Управление адаптивной системой осуществлялось с помощью стохастического параллельного градиентного алгоритма [1, 2]. В качестве целевой функции алгоритма использовалась доля мощности лазерного пучка в пределах его дифракционного угла. Рассмотрены два варианта использования адаптивных зеркал – система с общим контуром управления и два независимых адаптивных контура. Подобные адаптивные оптические системы могут применяться для коррекции фазовых искажений излучения, приобретаемых как при прохождении излучения сильно турбулентной атмосферой трассы, так и оптического тракта лазерной установки. Установлено, что эффективность коррекции фазовых aberrаций такой адаптивной системы высока при использовании двух независимых адаптивных контуров и подаче на первое адаптивное зеркало относительно малых пробных случайных напряжений.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект «Физика высоких плотностей энергии. Этап 2023–2025»).

**Список литературы**

1. Vorontsov M. A., Carhart G. W. Adaptive optics based on analog parallel stochastic optimization: analysis and experimental demonstration // Optical society of America. 2000. Vol. 17, N 8. P. 1440–1453.

2. Garanin S. G., Manachinsky A. N., Starikov F. A., Khokhlov S. V. Phase correction of laser radiation with the use of adaptive optical system at the Russian Federal Nuclear Center – Institute of Experimental Physics // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2012. Vol. 48, N 2. P. 134–141.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА ПО КОНТАКТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

*А. Н. Самсонова, В. А. Глазунов, Р. А. Тришин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Для оптимальной организации процесса горения и эффективного использования газа в пламени горелки необходимо знание структуры факела. Метод, с помощью которого это возможно – измерение температуры и ее распределение в факеле. Обычно измеряемые температуры лежат в достаточно широком интервале от 273 до 3000 °С и более. Для измерения температуры факела используют контактные методы измерения температуры, которые предполагают непосредственный контакт с измеряемым объектом. Однако использование контактного термометра может приводить к нарушению структуры пламени. [1, 2] Немаловажным является тот факт, что при температурах свыше 1500 °С точность измерения контактным методом снижается, за счет значительного лучистого потока на поверхности термопары.

В рамках данной работы проведен расчет измерения температуры факела кислород-водородной горелки с помощью термопар, защищенных графитовыми колпачками. Анализ полученных данных указал, на существенное отклонение величины температуры факела от данных измеренных открытыми термопарами. Часть теплового потока, получаемого от факела, терялось за счет излучения на внешней поверхности термопары, что занижало измеряемую температуру.

Для получения корректных значений температуры факела, необходимо в ходе численного моделирования решить обратную задачу теплопроводности – оценить граничное условие для известного изменения температуры точки внутри расчетной области. Для этого проведена серия расчетов теплопроводности измерительной системы в программном модуле ЛОГОС-Тепло, входящий в отечественный пакет программ инженерного анализа ЛОГОС [3]. На поверхности графитового колпачка задается комбинированное граничное условие – конвективное теплообмен

и тепловое излучение. Параметры конвективного граничного условия брались постоянными величинами, а также из результатов газодинамического расчета.

### **Список литературы**

1. Линеверг Ф. Измерение температур в технике. Справочник. Пер. с нем. 1980. С. 544.
2. Свет Д. Я. Оптические методы измерения истинных температур. М.: Наука, 1982. С. 296.
3. Пакет программ ЛОГОС [Электронный ресурс]: – режим доступа: <http://logos.vniief.ru/products/logos>.

## РАСЧЕТ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДВУХ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ В ПЛАЗМЕ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКАХ

*И. Р. Смагин, С. В. Бондаренко*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Эффект перераспределения мощности лазерного излучения между пересекающимися в докритической плазме лазерными пучками (Cross-Beam Energy Transfer) может оказывать существенное влияние на эффективность сжатия мишени в экспериментах по инерциальному термоядерному синтезу. В экспериментах по схеме прямого облучения мишеней он приводит к существенным потерям энергии лазерного драйвера [1]. При этом данное явление используется для управления симметрией облучения стенок цилиндрического бокса на установке NIF за счет введения необходимой отстройки длин волн между пересекающимися под разными углами группами пучков. В этом случае перераспределение мощности лазерного излучения происходит в разреженной плазме, образовавшейся в результате испарения перегородок вблизи отверстий для ввода пучков в бокс [2, 3].

В работе представлены результаты расчетов перераспределения мощности излучения между двумя пересекающимися в разреженной плазме лазерными пучками в трехмерной геометрии для случая симметричной конфигурации пучков относительно нормали к мишени [4]. Для моделирования условий экспериментов на мощных лазерных установках по схеме непрямого облучения рассматривалось использование сверхзвуковой газовой струи, а также мишеней из малоплотных пен. По результатам расчетов определены величины отстройки длин между двумя пучками при которой предполагается наблюдать наибольший уровень перераспределения мощности лазерного излучения.



**Список литературы**

1. Igumenshchev I. V. et al. Crossed-Beam Energy Transfer in implosion experiments on OMEGA // *Physics of Plasmas*. 2010. Vol. 17. 122708.
2. Michel P. et al. Saturation of multi-laser beams laser-plasma instabilities from stochastic ion heating // *Physics of Plasmas*. 2013. Vol. 20. 056308.
3. Michel P. et al. Symmetry tuning via controlled crossed-beam energy transfer on the National Ignition Facility // *Physics of Plasmas*. 2010. Vol. 17. 056305.
4. Marion D. J. Y. et al. Modeling crossed-beam energy transfer for inertial confinement fusion // *Physics of Plasmas*. 2016. Vol. 23. 052705.

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ НА КОНТАКТНЫХ ГРАНИЦАХ СЛОИСТЫХ СИСТЕМ

*Ю. А. Степанова, Д. И. Бобровский, И. Ю. Бобровская*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время большой практический интерес представляют задачи, в которых исследуется развитие процесса турбулентного перемешивания на контактных границах слоистых систем. Для расчета таких задач в мире существует ряд подходов и несколько десятков физических моделей, среди которых широкое применение получил RANS метод или полуэмпирические модели турбулентности. Одной из основных проблем данного метода является инициализация процесса турбулентного перемешивания, включающая в себя подзадачи: расчет этапа развития неустойчивости, определение момента перехода к процессу турбулентного перемешивания и формирование начальных данных для решения уравнений полуэмпирических моделей. От корректности моделирования этапа инициализации процесса турбулентного перемешивания зависит точность дальнейших вычислений.

В данной работе авторами исследуются различные эмпирические модели [1], [2], численно реализованные в «лагранжево-эйлеровой» методике МИМОЗА [3] и предназначенные для описания этапа развития неустойчивости, а именно неустойчивостей Рихтмайера-Мешкова и Рэля-Тейлора. Помимо этого, приводятся алгоритмы поиска положения ударных волн [4] с целью определения момента ударно-волнового взаимодействия. Представлены результаты верификации и валидации реализованных моделей и алгоритмов на тестовой задаче, моделирующей развитие неустойчивости Рихтмайера-Мешкова на границе раздела веществ воздух-фреон при прохождении ударной волны из «легкого» вещества в «тяжелое». Приводится сравнение полученных результатов расчетов с экспериментальными данными и результатами аналогичных расчетов, выполненных по методике ЛЭГАК [5].

**Список литературы**

1. Mansoor M. M., Dalton S. M., Martinez A. A., Desjardins T., Charonko J. J., Prestridge K. P. The effect of initial conditions on mixing transition on the Richtmyer-Meshkov instability // *Fluid Mechanics*. 2020. Vol. 904. P. A3.
2. Dimonte G., Ramaprabhu P. Simulations and model of the nonlinear Richtmyer-Meshkov instability // *Physics of Fluids*. 2010. Vol. 22, N 1. P. 014104-17.
3. Софронов И. Д., Афанасова Е. А., Винокуров О. А. и др. Комплекс программ МИМОЗА для решения многомерных задач механики сплошной среды на ЭВМ «Эльбрус» // *ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов*. 1990. Вып. 2. С. 3–9.
4. Разин А. Н. Моделирование турбулентного перемешивания в газовых слоях: Монография. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2020. С. 290.
5. Бахрах С. М., Величко С. В., Спиридонов В. Ф. и др. Методика ЛЭГАК-3D расчета трехмерных нестационарных течений многокомпонентной сплошной среды и принципы ее реализации на многопроцессорных ЭВМ с распределенной памятью // *ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов*. 2004. Вып. 4. С. 41–50.

## ДВУМЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА, ГЕНЕРИРУЕМОГО СИСТЕМОЙ (ЭМИГС)

*Е. С. Столмакова, А. А. Соловьев, А. А. Филатова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Искусственные спутники Земли и другие аппараты, находящиеся в космосе, могут подвергаться воздействию мощных потоков ионизирующих излучений (ИИ) как естественного, так и искусственного происхождения. При падении ИИ на элементы корпуса спутника с поверхности в космос выбивается поток фотоэлектронов. Между отрицательно заряженным электронным облаком и положительно заряженным корпусом возникает разность потенциалов, что приводит к генерации в окрестности космического аппарата электромагнитных полей. Воздействие таких полей на радиоэлектронную аппаратуру спутника может вызывать ее сбои или полный отказ.

По этой причине начиная с 70 – 80 гг. XX века в ряде стран проводились масштабные исследования процесса генерации ЭМИГС. Работы велись как в направлении создания расчетно-теоретических методик, так и лабораторного моделирования на лазерных установках. Для расчетно-теоретического сопровождения этих экспериментов в ИТМФ начата разработка численной методики определения параметров ЭМИГС.

На первом этапе работ предполагается разработка двумерной осесимметричной численной методики расчета и проведение соответствующих лабораторных экспериментов в цилиндрической геометрии. Такой выбор обусловлен характерной цилиндрической формой большинства объектов ракетно-космической техники и относительной простотой реализации двумерной методики по сравнению с трехмерной.

Целью данной работы является описание разработанного к настоящему времени варианта данной методики. Она основана на численном интегрировании уравнений Максвелла в цилиндрических координатах и использовании метода частиц [1] для расчета плотности тока фотоэлектронов.

Для тестирования разработанной численной методики были взяты две модельные задачи [2].

**Список литературы**

1. Yee K. S. Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media// IEEE of Ant. Prop. 1966. Vol. AP-14, N 3. P. 302–307.

2. Z. Xu, C. Meng, Y. Jiang and P. Wu. 3D Simulation of cavity SGEMP interference generated by pulsed X-rays// IEEE Trans. on Nucl. Sci. 2020. Vol. 67, N 2. P. 425–433.

**ПОСТРОЕНИЕ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТОК,  
АДАПТИРОВАННЫХ ПОД ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
МОДЕЛИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ  
ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ В ЦИФРОВОМ ПРОДУКТЕ  
ЛОГОС-ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

*Т. С. Трушкина<sup>1,2</sup>, М. Л. Сидоров<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

<sup>2</sup> Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова в г. Сарове,  
г. Саров Нижегородской обл.

Построение качественной расчетной сетки для расчетов трехмерных задач – трудоемкий и затратный этап при подготовке численной модели. Качество получаемых расчетных сеток существенно влияет на качество проводимых на них расчетов.

Геологическая модель имеет сложную литологическую структуру и может быть дискретизирована неструктурированной сеткой, адаптированной под различные типы объектов: скважины, выклинивания слоев, пласты, разрывы слоев и др.

В цифровом продукте ЛОГОС-Гидрогеология [1] можно производить построение сеток с типами ячеек: тетраэдры, призмы с треугольным и многоугольным основаниями, гексаэдры, многогранники.

Имеется возможность строить сетки в геологических слоях с пересекающимися поверхностями разделов геологических слоев, задавать зоны дополнительных детализаций и строить сетки с более высокой дискретизацией в местах наибольшего интереса. Метод балансировки разбиений обеспечивает плавный переход от зон с дополнительной детализацией к остальной области моделирования. Для учета технологических объектов и строений на поверхностной сетке применяется метод учета кривых-ограничений.

Разработанные методы работают как в последовательном, так и параллельном режимах.

В работе демонстрируются примеры построения сеточных моделей, среди которых модели реальных объектов. Проведен контроль качества

получаемых ячеек сеточных моделей. Даны оценки скорости работы и требуемой памяти для сеток, состоящих из разных типов ячеек в последовательном и параллельном режимах.

### Список литературы

1. Пронин В. А., Горев И. В., Сидоров М. Л. и др. Цифровой продукт ЛОГОС-Гидрогеология для решения задач поверхностного стока и подземной гидродинамики. / XVIII Международная конференция «Супервычисления и математическое моделирование» // Сборник тезисов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2022. С. 95.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ

*М. С. Турбылев, А. Г. Данилов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Для описания динамики течений газов или жидкостей в одномерном приближении используется система дифференциальных уравнений Эйлера. В качестве способов дискретизации по пространству применяется метод конечных разностей и метод конечных объемов. В данной работе производится сравнение двух методов на примерах реализации соответствующих численных схем.

Рассматривается балансно-характеристическая схема «Кабаре» второго порядка точности. Для переноса консервативных переменных в ней применяется метод конечных разностей, а для переноса потоковых переменных – метод характеристик.

В конечно-объемных схемах значения консервативных величин усредняются в пределах ячейки, а потоки между ячейками рассчитываются по формуле. Рассматривается схема HLL (Harten, Lax, van Leer) первого порядка точности, а также ее модификация TVD (total variation diminishing), имеющая второй порядок точности.

Численные методы сравниваются между собой на задачах с распадом разрыва, в том числе и со сверхзвуковыми скоростями. Показано, что модификация TVD заметно уменьшает диссипативные свойства счетной схемы. В результате оба численных метода показывают сравнимую высокую точность на тестовых задачах.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

*А. С. Хорева, Е. В. Глазунова, И. В. Будникова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Численное моделирование движения объектов в водной среде является актуальной и при этом достаточно трудной и ресурсоемкой задачей судостроения. При моделировании расхождения дополнительным фактором усложнения задачи является тот факт, что в рассмотрение берется несколько движущихся относительно друг друга объектов (носитель и отделяемый объект от него). При этом очевидно, что носитель до определенного момента времени оказывает влияние на отделяемый от него объект.

В связи с вышесказанным для расчета расхождения объектов морской техники требуется применение целого набора моделей и подходов к моделированию:

- модель твердого тела;
- технология сеток с перекрытием (сетки типа «Химера») для моделирования взаимного движения тел;
- модель турбулентности и пр.

В качестве базового решателя, обеспечивающего возможность использования перечисленных моделей и подходов, используется гидродинамический модуль пакета программ ЛОГОС [1].

В докладе представлены результаты моделирования расхождения объектов морской техники для различных режимов движения носителя. Представлены результаты предварительной верификации характеристик движения простых тел (диск, шар) [2, 3] с применением сеток типа «Химера».

Для расчета совокупности случаев расхождения объектов при различных скоростях и режимах движения носителя в модуле ЛОГОС-Платформа реализована возможность проведения серии параметрических исследований. Результатом параметрических исследований является файл, содержащий время расхождения объектов и их координаты. В дальней-

шем данный файл может использоваться для моделирования сценариев взаимодействия между объектами морской техники при различных условиях их движения.

### **Список литературы**

1. Пакет программ ЛОГОС [Электронный ресурс]. – URL: <http://logos.vniief/products>.
2. Девин С. И. Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций: Справочник. Л.: Судостроение, 1983. С. 320.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Перев. с немецкого. М.: Наука», 1974.

## ГЕНЕРАЦИЯ И ПРОЕЦИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО ТЕКСТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ВИРТУАЛЬНЫЙ 3D-ПРИНТЕР»

*О. И. Червякова, И. Г. Милешин, В. В. Попов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В рамках проекта «Виртуальный 3D-принтер», реализуемого в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ведется разработка программного комплекса, позволяющего моделировать физические процессы при изготовлении деталей методами аддитивных технологий, а также создавать и редактировать детали, подготавливать их к производству.

Одним из видов функциональности при создании и редактировании деталей для последующего изготовления является набор инструментов, необходимый для генерации объемных текстов на поверхности деталей с использованием системных шрифтов.

В статье [1] рассмотрены вопросы получения контуров символов, заданных системными шрифтами. В данном докладе описана функциональность, посредством которой из сгенерированных ранее контуров получают спроецированные на поверхность деталей объемные символы. Описывается идея и реализация алгоритмов генерации объемных символов и их проецирования на поверхность деталей. Рассматривается созданный графический пользовательский интерфейс, содержащий данную функциональность.

### Список литературы

1. Титов М. А. Реализация в программном комплексе «Виртуальный 3D-принтер» возможности применения векторных шрифтов для аддитивного производства. // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2022. Вып. 3. С. 86–96.

## **АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ СЕТКИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПОСТРОЕНИИ ОБЪЕМНОЙ СЕТКИ МЕТОДОМ ОТСЕЧЕНИЯ В ПРЕПРОЦЕССОРЕ ЛОГОС АЭРО - ГИДРО**

*А. И. Шавхитдинова, М. В. Черенкова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

На данный момент интенсивно развивается такое направление научной деятельности как моделирование физических процессов для более детального их исследования. Для подобных целей в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» разработан пакет программ ЛОГОС [1]. Одной из составных частей этого пакета является ЛОГОС Аэро-Гидро для решения задач аэрогидродинамики, в котором возможно проводить расчеты физических процессов, построение 3D сеток разными методами, например, построение поверхностных треугольных сеток [2] или неструктурированных расчетных сеток методом отсечения [3].

При генерации поверхностных сеток размер результирующего элемента вычисляется в зависимости от кривизны исходной поверхности. Это позволяет получить качественную аппроксимацию искривленных участков исходной фасеточной модели. Однако в некоторых случаях размер результирующих треугольников на искривленных местах намного больше того, что был вычислен заранее. В итоге при дальнейшем построении объемной сетки методом отсечения размер адаптивной ячейки, соответствующий усредненному весу, вычисленному по размеру результирующего элемента поверхностной сетки, может быть завышен, что может негативно сказаться на моделировании задач аэрогидродинамики.

Для улучшения качества аппроксимации ячейками объемной сетки исходной модели в этап расчета весов был внедрен алгоритм вычисления весов, основанный на анализе кривизны элементов поверхностной сетки и дополнительной адаптации поверхностных элементов.

В докладе описан алгоритм вычисления весов треугольников поверхностной сетки, основанный на вычислении кривизны исходной фасеточной модели, реализованный для генератора методом отсечения. Описаны два разных подхода к вычислению веса треугольника. Приведены приме-

ры распределения значений весов по треугольникам для различных исходных моделей и примеры результирующих объемных сеток, построенных на исходных данных с вычисленными весами.

### Список литературы

1. Пакет программ ЛОГОС [Электронный ресурс]: – режим доступа: <http://logos.vniief.ru/products/logos>.
2. Евстифеева Е. О. Перестроение поверхностных треугольных сеток высокой детализации на основе алгоритма упрощения в ЛОГОС Аэро-Гидро. / Международная конференции «Марчуковские научные чтения - 2022» // Сборник тезисов: Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН, 2022. С. 30–31.
3. Смолкина Д. Н., Борисенко О. Н., Черенкова М. В., Гиниятуллина А. Г., Кузьменко М. В., Чухманов Н. В., Потехина Е. В., Попова Н. В., Турусов М. Р. Автоматический генератор неструктурированных многогранных сеток в препроцессоре пакета программ ЛОГОС // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2018. Вып.2. С. 25–39.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА ПЛЕНЕНИЯ  
РЕЗОНАНСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-  
ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЕЛЕННОСТИ В ЛАЗЕРНОЙ  
СРЕДЕ, АКТИВИРОВАННОЙ ИОНАМИ  $Yb^{3+}$ , МЕТОДОМ  
КВАДРАТУР ГАУССА**

*А. А. Суворов, О. С. Щербачева*

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск Калужской обл.

В работе исследуется влияние процесса пленения излучения (по теории Бибермана-Холстейна) на динамику населенности верхнего лазерного уровня в двухуровневой системе. Проводится численный расчет пространственно-временного распределения населенности с использованием квадратурной формулы Гаусса. На первом этапе рассматривается одномерная стационарная задача, имеющая аналитическое решение. Точное решение сравнивается с результатами численных расчетов стационарного уравнения методом квадратур Гаусса для разного числа ординат. Далее исследуется стационарное уравнение для пространственного распределения населенности. В предположении накачки гауссовым пучком уравнение решается методом двенадцатиточечной квадратуры Гаусса. По полученному фурье-образу восстанавливается пространственное распределение населенности. Аналогичный метод используется для решения нестационарной задачи. Полученные результаты применены для анализа процессов, протекающих в жидкой лазерно-активной среде, активированной ионами  $Yb^{3+}$ , на которой недавно в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» была получена лазерная генерация.

## ЭФФЕКТЫ ЗАТЕНЕНИЯ И РЕАДСОРБЦИИ В КИНЕТИКЕ РОСТА НИТЕВИДНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ

*М. А. Шипуля*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск

Процесс образования и развития ансамбля нитевидных нанокристаллов (ННК) в методе осаждения из газовой фазы возможно условно разделить на три основных этапа: зарождение, образование ансамбля, а также непосредственно рост в ансамбле. Для каждой из указанных фаз развития характерен свой физический механизм, определяющий основной вклад в изменение средней скорости роста ансамбля. В частности, возможно выделить вклады в изменение скорости роста ННК от атомов следующих сортов: диффундирующих по подложке ансамбля; попавших на боковую поверхность отдельно стоящих ННК и от атомов, оторвавшихся от боковой поверхности таких ННК в результате десорбции. Первый из указанных вкладов является основным во время зарождения ансамбля. По мере увеличения высоты ННК увеличивается также и площадь его боковой поверхности, поэтому, на втором этапе формирования ансамбля ведущую роль начинает играть вклад от атомов второго типа. При превышении высоты ННК длины свободного пробега атомов по боковой поверхности ННК, начинает сказываться влияние вклада от атомов третьего типа.

Указанные выше механизмы изменения скорости роста ННК носят явно случайный характер. Соответственно, для описания физических процессов, связанных с данными механизмами, целесообразно применять методы имитационного моделирования. В частности, при исследовании кинетики роста нитевидных нанокристаллов во время процесса осаждения ростового вещества из газовой фазы, применение численных методов имитационного моделирования возможно формализовать в виде использования алгоритма Монте-Карло для фиксации начальных условий, определяющих геометрию и термодинамические свойства рассматриваемой системы, совместно с применением алгоритмов теории клеточных автоматов, описывающих, в свою очередь, кинематику ростового вещества в рассматриваемой системе. Такой подход позволяет учитывать эффекты, связанные с наличием в системе случайных процессов, подчиняющихся строгим физическим закономерностям.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СВИНЦОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РЕГУЛЯРНОЙ ЯЧЕЙКЕ ТВС С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩИХ МЕТОДИК**

*Д. В. Ширяев*

НИУ «МЭИ», Москва

В настоящее время одним из перспективных направлений мировой ядерной энергетики является создание реактора IV-го поколения на быстрых нейтронах со свинцовым жидкометаллическим теплоносителем. БР-1200 эволюционно продолжает концепцию БРЕСТ-ОД-300 и является первым проектом коммерческого реактора большой мощности со свинцовым теплоносителем.

Сегодня расчеты реакторного оборудования базируются на CFD-моделировании, в котором в основном используется метод RANS, хорошо согласующийся с эмпирическими формулами лишь по интегральным характеристикам. Это обусловлено тем, что вихреразрешающие методики требуют больших временных затрат и вычислительных ресурсов. Поэтому моделирование крупных вихрей LES необходимо для проверки RANS моделей в отсутствии экспериментальных данных, особенно в области отрывных течений.

В работе представлены результаты численного анализа течения свинцового теплоносителя в области расположения дистанционирующей решетки сотового типа регулярной ячейки тепловыделяющей сборки БР-1200 с применением метода LES в CFD-коде STAR-CCM+. Расчетная область состоит из 162 миллионов ячеек; число Рейнольдса составляет порядка 149 тысяч, на внутренней поверхности оболочек твэлов задается тепловой поток  $1,5 \text{ МВт/м}^2$ , что соответствует режимным параметрам энергетической коммерческой установки БР-1200.

В результате моделирования получены пульсации интегральных параметров по теплоотдаче и гидродинамике, определены локальные характеристики в месте расположения дистанционирующей решетки. Вычисле-



ны составляющие турбулентности, отвечающие за ее генерацию и диссипацию, построены энергетические спектры турбулентных пульсаций компонент скорости и температуры, демонстрирующие наклон инерционного интервала спектра близкий к колмогоровскому закону  $-5/3$ , что свидетельствует о полном разрешении крупных вихрей и реализации каскадного переноса энергии турбулентности.

## ПОЛУЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ПЕРЕНОСЕ НЕМОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПАРЫ АТОМОВ КАЛИЯ С ЦЕЛЬЮ АПРОБАЦИИ РАСЧЕТНЫХ ПРОГРАММ

*В. М. Ямщиков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В работе рассматривается процесс переноса направленного немонахроматического излучения в среде, состоящей из атомов калия [1–2]. Учитываются процессы нелинейного поглощения и вынужденного испускания излучения, спонтанные переходы атомов, зависимость длины свободного пробега фотона от координаты, в которой он находится, и спектральная зависимость коэффициентов поглощения и переизлучения.

Для теоретического изучения распространения излучения в резонансно поглощающей среде, состоящей из атомов щелочных металлов, обычно используются уравнения кинетики населенностей и уравнения переноса излучения. В общем случае система этих уравнений является нелинейной. Для нахождения решения подобных задач обычно создаются расчетные программы, которые необходимо тестировать с помощью аналитических тестов и/или натурального эксперимента [3–5].

### Список литературы

1. Binglin Shen, Bailiang Pan, Jing Yang, Aiqing Qian, Jian Jiao // *Appl. Phys.* В. 2014.
2. Gordon D. Hager, Glen P. Perram // *Appl. Phys.* В. 2013.
3. Ямщиков В. М., Рогачев В. Г., Кудряшов Е. А., Качалин Г. Н. // *Оптика и спектроскопия.* 2020. Том 128. № 8. С. 1160.
4. Завьялов В. В., Козманов М. Ю., Селезнев В. Н., Черняков В. Е., Шестаков А. А. // *ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов.* 2005. Вып. 3. С. 26–36.
5. Галанин М. П., Лукин В. В., Четкин В. М. // *Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша.* 2010. № 59. С. 30.

## СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА РОСТА ГАЗОВОГО ПУЗЫРЯ

*М. А. Ямщикова, В. М. Ямщиков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Из повседневного опыта известно, что пузырьки могут образовываться в объеме жидкости или на поверхности стенок резервуара, однако механизм их роста предполагается одинаковым, независимо от места образования. Динамика роста пузырька описывается системой уравнений диффузии в движущейся среде и уравнениями движения. В общем случае такая система может решаться только численными методами. Также на примере газированных напитков (в воде растворен газ  $\text{CO}_2$ ) можно заметить, что пузырьки в основном образуются после открытия бутылки. При открытии достаточно быстро происходит перепад давления. Этот процесс быстрый, но не мгновенный. Поэтому важной задачей является определение характерного времени этого процесса и поиск зависимости изменения давления в бутылки от времени [1]. Данная зависимость необходима для решения уравнений движения.

В работе приведены аналитические результаты автомодельного решения задачи о росте газового пузыря в воде и результаты численного моделирования сферически симметричной связанной задачи диффузии и гидродинамики. Получены расчетные зависимости размера пузырька в зависимости от времени, а также распределение концентрации от расстояния до его центра.

### Список литературы

1. Тарасов В. В. Расчет времени истечения идеального газа из резервуара постоянного объема в среду с постоянным давлением при адиабатическом процессе // Вестник Тюменского государственного университета. Физ. – мат. Моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2016. Т. 2, № 2. С. 84–95.

## **Секция 2**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА**

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СКАНИРУЮЩИХ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ ИОННОГО СИНХРОТРОНА**

*А. А. Акифьев, Р. П. Трунцева, А. М. Опекунов, Л. Е. Поляков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ создается многоцелевой комплекс, в составе которого планируется использование ускорителя синхротронного типа для изучения взаимодействия излучения с веществом [1, 2]. Формирование рабочего поля излучения широкого спектра ионов с энергией до сотен МэВ/нуклон в системе вывода излучения синхротрона обеспечивается активным и пассивным способами. При активном сканировании осуществляется развертка пучка частиц магнитным полем, создаваемым дипольными магнитами, на обмотки которых подается ток заданной частоты [3]. При длительной работе данной системы возникает необходимость принудительного охлаждения элементов сканирующих магнитов [4].

В данной работе приведены результаты расчетов системы формирования поля облучения на основе двух сканирующих магнитов. Приведены результаты расчетов характеристик магнитных полей для перечня заряженных частиц от протонов (700 МэВ) до ионов висмута (36 МэВ/нуклон) в дискретном и периодическом режимах работы системы сканирующих магнитов. Проведена оценка неоднородности поля облучения на объекте испытаний. Произведен тепловой расчет элементов конструкции сканирующих магнитов, на основе результатов которого определены требования к системе принудительного водяного охлаждения. Расчеты проведены с помощью программного пакета для моделирования, который позволяет проводить трехмерные расчеты физических процессов и проектирование электротехнических устройств.

### **Список литературы**

1. Будников Д. В. и др. Ядерные и электрофизические установки РФЯЦ-ВНИИЭФ: настоящее и будущее // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2021. Вып. 4. С. 5.

2. Завьялов Н. В. Исследовательские установки РФЯЦ-ВНИИЭФ для экспериментального получения фундаментальных и прикладных знаний в области ядерной, радиационной физики и физики быстропротекающих процессов // Успехи физических наук. 2021. Т. 191, № 9.

3. Лебедева Ж. С. Формирование дозных распределений в протонной онкоофтальмологии // Дис. – Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2015.

4. Родштейн Л. П. Электрические аппараты // Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоиздат, 1981.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ НА ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

*А. М. Болтаев, А. В. Зубков, В. П. Коваленко,  
В. М. Рябцев, О. И. Горчаков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Разработана расчетная модель процесса генерации второй гармоники излучения неодимового лазера с использованием системы укороченных дифференциальных уравнений [1, 2] с учетом реальных параметров, в рамках которой определены требования для получения эффективности преобразования не ниже 60 %. Для преобразования излучения основной частоты ( $\lambda = 1053$  нм) с интенсивностью 1–2 ГВт/см<sup>2</sup> необходимо использовать кристаллы KDP с первым типом фазового синхронизма (00-е) толщиной 19–21 мм, угловая ошибка настройки кристаллов не должна превышать 50 мкрад. Проведенные расчеты хорошо согласуются с результатами экспериментов, проведенных на лазерной установке нового поколения.

### **Список литературы**

1. Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В. Прикладная нелинейная оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. С. 512.
2. Гурдазян Г. Г., Дмитриев В. Г., Никогосян Д. Н. Нелинейно-оптические кристаллы. М: Радио и связь, 1991.

## УПРАВЛЕНИЕ РЕГИСТРАЦИЕЙ ПРОТОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОГРАФИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УСКОРИТЕЛЕ У-70

*Э. Н. Братишка, А. А. Городнов, А. А. Жирунов, М. С. Ефремов,  
А. Д. Решетняк, А. О. Пергаев<sup>1</sup>, Е. В. Рыбакова<sup>1</sup>*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup> СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

На синхротронном ускорителе протонов У-70 (НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ г. Протвино) проводятся работы на протонном радиографическом комплексе (ПРГК) [1]. Основной задачей данного комплекса является регистрация протонных изображений при проведении радиографических экспериментов. Для выполнения данной задачи в состав комплекса входят три пункта регистрации протонных изображений (ПРПИ). Каждый ПРПИ оснащен программно-аппаратным комплексом для регистрации протонных изображений, включающим в себя систему управления генераторами задержек, систему управления осциллографами, систему управления контроллерами объективов, систему позиционирования объектов и систему управления питанием. Для разработки программного обеспечения систем управления использовался инструментальный программный пакет CRW-DAQ [2].

Система управления генераторами задержек позволяет производить подбор параметров для каждого из устройств, а именно: время задержки относительно сигнала синхронизации ускорителя, амплитуду и длительность сигнала для срабатывания затвора ПЗС-регистраторов. Система управления осциллографами позволяет удаленно получать данные об интенсивности пучка с измерительного трансформатора тока (пояс Роговского) и о сигналах срабатывания затворов. При помощи системы управления контроллерами объективов производится подбор диафрагмы и настройка фокусировки изображения. Система позиционирования объектов дает возможность удаленно перемещать исследуемые объекты, управлять положением сцинтилляторов и реперных объектов. Система управления питанием обеспечивает бесперебойным питанием оборудование,



позволяет удаленно управлять подачей питания на аппаратные подсистемы (осциллографы, генераторы, регистраторы и т.д.) и отслеживать состояние внешней электрической сети.

### Список литературы

1. Андриянов А. И. и др. Ввод в эксплуатацию комплекса ПРГК на ускорителе У-70 ГНЦ ИФВЭ. Препринт ИФВЭ 2015-3. Протвино, 2015. С. 13.
2. Курякин А. В., Виноградов Ю. И. Программа для автоматизации физических измерений и экспериментальных установок (CRW-DAQ) // Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612848 от 10.08.2006 г. URL: [www.crw-daq.ru](http://www.crw-daq.ru).

## ИССЛЕДОВАНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОЙ И ОДНОМЕРНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*Д. А. Вишивков, С. Ю. Головкин, В. Н. Деркач,  
Л. А. Душина, В. Н. Пугачёва*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Проведены расчетно-теоретические и экспериментальные исследования, направленные на обеспечение высокой точности измерений состояния материалов при ударно-волновом воздействии. Показано, что погрешность измерения существенным образом зависит от одномерности и стационарности ударной волны.

Проведены стендовые исследования гомогенизаторов излучения, предназначенных для однородного облучения поверхности лазерной мишени и формированию ударной волны плоского типа. С их применением проведены эксперименты по облучению мишеней, получена неравномерность выхода УВ  $< 20$  пс в области размером  $\approx 600$  мкм. Проведена оптимизация конструкции мишеней с целью минимизации погрешности измерения термодинамических параметров сжатого вещества, вызванной нестационарностью движения ударной волны до нескольких процентов. Представлены результаты экспериментальных исследований ударной сжимаемости материалов в постановке с контролируемой симметрией облучения и конструкцией мишени, оптимизированной к нестационарности ударной волны.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ YAG:ND ЛАЗЕРА

*Л. В. Гафурова, И. В. Касьянов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Проведено исследование режимов работы внутрирезонаторной генерации второй гармоники в линейной схеме с выводом излучения через призму Глана-Тейлора (ПГ) на основе YAG:Nd лазера с длиной волны 1064 нм при использовании нелинейного кристалла LBO. Получены экспериментальные зависимости энергии, длительности и эффективности преобразования от длительности задержки для двух кристаллов с длинами 20 мм и 40 мм. Достигнута энергия генерации  $50,8 \pm 3,6$  мДж, при длительности импульса  $t = 11,2 \pm 0,8$  нс. Эффективность преобразования составила  $42 \pm 2$  %

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ МЕТАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ БРИЗАНТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Г. А. Гребенкин, Е. Б. Смирнов, А. В. Сарафанников, Д. П. Кучко, К. М. Просвирнин, Д. Г. Панкратов, И. Г. Галиуллин, И. А. Ахлюстин, К. В. Еганов, К. М. Мирошкин, А. В. Воробьев, А. С. Грemitских, А. Г. Поцлов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

В газодинамической практике ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» проведение экспериментов по метанию пластин продуктами взрыва взрывчатых веществ (ВВ) является очень распространенным и значимым для оценки и контроля качества параметров, серийно изготавливаемых ВВ. Данные, полученные в экспериментах, также необходимы для численного моделирования детонации.

Традиционно процесс метания пластины регистрируется при помощи методики М-60 [1] с использованием электроконтактных датчиков, которая обладает рядом недостатков.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование процесса метания стальной пластины продуктами взрыва бризантного ВВ с использованием интерферометрических методов регистрации – аппаратных комплексов радиоволновой и лазерно-гетеродинной методик (ЛГМ, PDV) в постановке методики М-60.

Регистрация процесса движения пластины с применением интерферометрических методик позволяет избавиться от ряда недостатков: невозможностью непрерывного и не возмущающего наблюдения разгона пластины во всем диапазоне измерений, а также трудоемкостью в изготовлении.

По результатам экспериментов были построены  $x-t$  и  $v-x$  зависимости по всем использованным методикам, а также рассчитана величина относительной метательной способности. Отмечена хорошая согласованность радиоволновой и лазерно-гетеродинной методик с электроконтактной.

Характер полученных зависимостей, позволил увидеть явление откола, происходящего в метаемой пластине, ранее не регистрируемой при использовании электроконтактной методики.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности внедрения интерферометрических методов регистрации для исследования метательной способности ВВ.

### **Список литературы**

1. Физика взрыва/ Под ред. Л. П. Орленко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. С. 656. ISBN 5-9221-0220-6.

## ОДНОКАДРОВАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ТЕНЕВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СФЕРИЧЕСКИ ИЗОГНУТОГО КРИСТАЛЛА

*С. Д. Девятков, Е. С. Борисов, Д. А. Вихляев, Д. С. Гаврилов,  
А. В. Емельянов, Д. С. Носуленко, А. В. Потапов, Е. А. Пряхина,  
Н. Ю. Титаренко, П. А. Толстоухов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Рентгеновские микроскопы на основе изогнутых кристаллов активно используются при экспериментальных исследованиях в области физики высоких плотностей энергии [1–3]. Они позволяют получать изображения объектов в рентгеновских лучах с высоким пространственным разрешением, а так же характеризуются большим полем зрения (до 1 мм). Кроме этого, системы на основе кристаллов обладают высоким спектральным разрешением на уровне  $\Delta\lambda/\lambda=10^{-3}\div 10^{-4}$ .

Разработана система регистрации теневых рентгеновских изображений, включающая в себя сферически изогнутый кристалл кварца ( $10\bar{1}1$ ) и ПЗС-камеру.

С помощью созданной системы продемонстрирована возможность получения теневых изображений объектов в лучах линии  $\text{Si Ly}_\alpha$  ( $E = 2,01$  кэВ), генерируемых при облучении кремниевых и стеклянных мишеней мощными пикосекундными лазерными импульсами.

В проведенных экспериментах спектр источника рентгеновской подсветки в диапазоне  $5,7\div 7,5$  Å измерялся спектрографом на основе кристалла КАР и фотолюминесцентного детектора.

Экспериментально определенное разрешение системы регистрации теневых изображений в сагиттальном и меридиональном направлении составляет  $\delta = 20$  мкм, поле зрения – около 1 мм.

---

### Список литературы

1. Hall G. N. et al. The crystal backlighter imager: a spherically bent crystal imager for radiography on the National Ignition Facility [Текст] // Rev. Sci. Instrum. 2019. Vol. 90.
2. Schollmeier M. S. et al. A 7.2 keV spherical X-ray crystal backlighter for two-frame, two-color backlighting at Sandia's Z Pulsed Power Facility [Текст] // Rev. Sci. Instrum. 2017. Vol. 88.
3. Stoeckl C. et al. Soft X-ray backlighting of direct-drive implosions using a spherical crystal imager on OMEGA [Текст] // Rev. Sci. Instrum. 2012. Vol. 83.

## СТРУКТУРА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В АРГОНЕ, ПОДДЕРЖИВАЕМОГО ПОЛЕМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ

*В. И. Жуков, Д. М. Карфидов*

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва

Исследуется структура СВЧ разряда, поддерживаемого поверхностной электромагнитной волной [1] в кварцевых трубках различного диаметра, заполненных аргоном. Разряд на поверхностной волне возбуждался волноводным аппликатором с рабочей частотой 2.45 ГГц, мощностью 800 Вт, либо коаксиальным резонатором (сурфатроном) [2], работающим на частоте 460 МГц, мощностью 40 Вт. Эксперименты проводились в диапазоне давлений от 0,2 до 7 Торр, где частота столкновений электронов с нейтральными атомами много меньше круговой частоты СВЧ волны  $\nu_{en} \ll \omega$ .

Использован комплексный подход к измерению плотности плазмы. Абсолютные значения средней по сечению трубки концентрации электронов определены по дисперсионному соотношению для ПЭВ [3], связывающему измеряемую длину поверхностной волны с плотностью плазмы, и по методу прохождения диагностического СВЧ сигнала. Продольные и радиальные профили плотности плазмы получены по интенсивности свечения плазмы, пропорциональной концентрации электронов [3]. Показано, что при росте концентрации электронов радиальный вид профиля плотности изменяется от бесселева до столообразного и неоднородного с минимумом на оси трубки.

### Список литературы

1. Trivelpiece A. W. Slow wave propagation in plasma waveguides: The DP-degree Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, 1958.
2. Moisan M., Zakrewski Z. Plasma sources based on the propagation of electromagnetic surface waves // J. Phys. D: Appl. Phys. 1991. Vol. 24. P. 1025.
3. Zhukov V. I., Karfidov D. M., Sergeichev K. F. Propagation of Microwave Discharge Sustained by Surface Wave in Quartz Tube Filled with Low-Pressure Air // Plasma Phys. Rep. 2020. Vol. 46. N 8. P. 760–768.



## ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА В КРИОГЕННОЙ МИШЕНИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

*Е. Ю. Зарубина*<sup>1,2</sup>, *М. А. Рогожина*<sup>1</sup>, *И. А. Чугров*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

<sup>2</sup> Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова в г. Сарове,  
г. Саров Нижегородской обл.

Криогенные мишени, предоставляемые в лазерный эксперимент по зажиганию, должны соответствовать высоким требованиям: шероховатость внутренней поверхности криослоя должна быть в пределах 1 мкм [1], отклонения от однородности, сферичности, концентричности слоев – менее 1–2 % [2, 3]. В данной работе приведены результаты разработки методов контроля изотопов водорода в криогенной мишени.

Проведено двумерное моделирование прохождения пучка видимого излучения через криогенную мишень методом трассировки лучей с рядом переменных параметров, необходимое для исследования влияния различных факторов на формирование теневого изображения криомишени и вычисление параметров криогенного слоя, а также для исследования границ применимости оптического теневого метода.

Для получения твердого криогенного слоя требуемой толщины разработана программа вычисления видимой высоты мениска жидкого топлива по оптической теневой картине при наполнении оболочки изотопами водорода. Разработана программа для теневого контроля параметров твердого криослоя, в которой при известном диаметре и толщине оболочки по теневому изображению автоматически вычисляются и записываются в файл параметры криослоя: профиль, шероховатость, спектр мощности Фурье, отклонения от концентричности и сферичности внутренней поверхности криослоя, средняя толщина криослоя.

Проведено двумерное моделирование прохождения параллельного пучка рентгеновских лучей через сферически симметричную криогенную мишень с рядом переменных параметров, результат – смоделированное рентгеновское теневое изображение и нанесенные на него реальные границы криомишени.

**Список литературы**

1. Sangster T. C., Betti R., Craxton R. S. et.al. Cryogenic DT and D2 targets for inertial confinement fusion. PHYSICS OF PLASMAS 14, 058101, 2007.
2. Yan Tianliang, Wang Kai, Zang Zhongming et al. Compact, snapshot and triple-wavelength system for ICF target ice-layer refractive index and thickness measurement. Optics and Laser Technology 134 (2021) 106595.
3. Possible approaches to fast quality control of IFE targets. Koresheva E. R., Nikitenko A. I., Aleksandrova I. V. Nuclear Fusion, September 2006. C. 891.

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОРОСОДЕРЖАЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ

*Е. В. Карлина, Е. В. Халдеев, М. Ю. Батьков, С. Е. Гришина,  
А. В. Шкуряков, П. А. Крутиков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В работе проведены исследования по реализации термодинамического потенциала бора в составе взрывчатых смесей. В настоящее время бор рассматривается в качестве перспективного компонента взрывчатых составов благодаря высокой теплоте сгорания (58000 кДж/кг), что, в теории, может значительно повысить теплоту взрыва взрывчатых веществ по сравнению с обычно используемыми добавками алюминия. Однако недостатком бора является неполнота сгорания, в виду чего существуют противоречивые мнения о перспективности его применения во взрывчатых составах. Авторы предполагают, что данное противоречие связано с различием в рецептурах взрывчатых составов в частности, с массовым содержанием взрывчатого компонента.

Для проверки данной гипотезы были проведены исследования работоспособности взрывчатых составов, содержащих бор, методом свинцовой бомбы (ГОСТ 4546-81).

В результате проведенных экспериментов выявлены следующие особенности использования бора во взрывчатых составах:

– при увеличении массовой доли бора за счет уменьшения взрывчатого компонента фугасность взрывчатых составов падает, что, вероятнее всего, связано со снижением общей температуры взрывчатого превращения. В результате, добавка бора сгорает не полностью и термодинамический потенциал системы не реализуется. Таким образом, необходимо соблюдать определенный баланс между массовым содержанием взрывчатого компонента и бора, при котором наблюдается значительное повышение фугасности.

– при соблюдении первого условия необходимо также оптимизировать кислородный баланс системы, используя добавку окислителя. При успешном воспламенении бора за счет взрывчатого компонента неболь-

шая добавка окислителя позволяет обеспечить его полное окисление, что положительно сказывается на фугасности взрывчатого состава.

– добавка алюминия также может применяться для воспламенения бора, но не является необходимой. Использование алюминия совместно с бором целесообразно для составов с относительно низким содержанием взрывчатого компонента. Однако, с точки зрения калорийности системы, наиболее перспективно использовать добавку бора без алюминия, обеспечивая воспламенение за счет детонации взрывчатого компонента.

## ИССЛЕДОВАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ ПОВЫШЕНИЯ ОДНОВРЕМЕННОСТИ ПРИХОДА ИМПУЛЬСОВ МНОГОКАНАЛЬНОЙ НЕОДИМОВОЙ УСТАНОВКИ НА ЛАЗЕРНУЮ МИШЕНЬ

*В. А. Карпов, Д. В. Бакайкин<sup>1</sup>, Б. Г. Зималин, Р. Ю. Костюнин,  
С. А. Макаров, Р. В. Мокрецов, В. В. Мурылев, С. Ф. Попов, А. В. Савкин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Мощные лазерные установки на неодимовом стекле с наносекундной длительностью импульса излучения являются в настоящее время основным инструментом для проведения исследований в области инерциального термоядерного синтеза, а также в работах по взаимодействию мощного лазерного излучения с веществом. Такие установки строятся, как правило, по многоканальной схеме. Для эффективного облучения мишени в этом случае необходимо обеспечить одновременность прихода лазерных импульсов каждого канала на ее поверхность.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению и оптимизации относительной временной задержки прихода импульсов 16 лазерных каналов в центр мишенной камеры многоцелевого исследовательского комплекса (МИК) установки нового поколения. Представлены результаты оптимизации двух модулей установки (4 кластера по 4 канала). Между кластерами посредством системы синхронизации возможно изменение моментов запуска задающих генераторов с точностью до 10 пс. Однако в пределах отдельно взятого кластера момент прихода лазерных импульсов на мишень можно регулировать только выравниванием оптических длин соответствующих каналов.

В результате проведенных исследований оптимизирована временная задержка между лазерными импульсами, фокусируемыми на поверхность лазерной мишени. Максимальная временная задержка импульсов в каналах составила менее 0,2 нс.

## РАЗЛОЖЕНИЕ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ОКТОГЕНА ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*А. М. Климов, К. Н. Панов, М. Е. Шаврин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При математическом моделировании процессов инициирования взрывчатых веществ (ВВ) широкое использование получили формально-кинетические модели, в которых из физических соображений задается функциональная связь между параметрами характеризующими процесс химического разложения ВВ, а экспериментальные данные используются для определения коэффициентов в соответствующих зависимостях. При этом процесс разложения ВВ характеризуется одной переменной  $\alpha$ , которая определяется как отношение массы прореагировавшего вещества к общей массе исходного ВВ.

В работах Г. И. Канеля по разложению литого тротила в ударных волнах описан расчетно-экспериментальный метод получения кинетических данных о процессе химического разложения. В работе С. Г. Андреева для извлечения кинетики разложения ВВ использовался метод квазитонких слоев (КТС).

Уменьшить погрешность определения  $\alpha$  можно путем одновременно измерения зависимостей  $V(t)$  и  $P(t)$  непосредственно в эксперименте. В настоящее время в литературе появилось много работ, посвященных исследованию состояния вещества за фронтом УВ (ДВ) с помощью излучений разного вида. Эти работы посвящены, главным образом, проблеме определения плотности вещества за фронтом ДВ или ИУВ. В данной работе предложен экспериментальный метод для определения закономерности разложения ВВ за фронтом УВ по зависимостям  $P(t)$  и  $V(t)$ , полученных в одном опыте.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование поведения смесового взрывчатого состава (ВС) при ударно-волновом нагружении предложенным методом.

В работе предложена схема проведения эксперимента при ударно-волновом нагружении заряда ВВ, позволяющая проводить в одном опыте одновременное измерение зависимостей  $P(t)$  и  $\rho(t)$  за фронтом инициирующей ударной волны. Полученные зависимости позволяют проследить изменение фазового состояния вещества за ударным фронтом в координатах  $P-V$  и рассчитать изменение степени разложения взрывчатого вещества  $\alpha$  со временем после прохождения фронта ударной волны.

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ГЕНЕРИРУЕМЫЙ ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ**

*Г. Н. Колесов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Проведена серия экспериментов с макетом автогенераторного измерительного преобразователя (АИП) [1], [2]. Исследовано влияние параметров измерительной цепи АИП на генерируемый выходной сигнал. Обнаружен неустойчивый режим генерации сигнала АИП. Показана фазовая динамика колебаний выходного сигнала в зависимости от параметров измерительной цепи АИП.

### **Список литературы**

1. Двинских В. А. Раздельные измерения составляющих комплексного сопротивления полупроводниковых объектов с большими потерями // Метрология. 1978. № 5. С. 49–55.
2. Парусов В. П. Автогенераторные преобразователи емкости с термисторным мостом в измерительной цепи // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 5. С. 79–81.



## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ КОМПОНЕНТОВ МИШЕНЕЙ НА БАЗЕ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА**

*Н. Н. Краева, И. А. Чугров, С. М. Прохоров,  
С. Ю. Батуков, Е. Ю. Соломатина*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При проведении экспериментов на мощных лазерных установках возникает необходимость в изготовлении составных мишеней [1]. К компонентам таких мишеней предъявляются высокие требования по точности изготовления. Специфика микрообработки компонентов мишеней заключается в малых размерах элементов (от 0,7 до 2 мм). Для изготовления компонентов мишеней создана система лазерной микрообработки на базе пикосекундного лазера.

В докладе приведены сведения о конструкции лазерной системы и ее основные характеристики. Приведены примеры компонентов мишеней, изготовленных при помощи данной системы.

### **Список литературы**

1. Елисеев Г. М., Кузнецов П. Г., Плетенева Н. П., Тихонов А. В. Расчетные оценки параметров рентгеновского излучения в мишенях «Иллюминатор» для перспективной лазерной установки с энергией в импульсе 30–60 КДж. / Международная конференция «XX Харитоновские тематические научные чтения». // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. Т. 1. С. 237–242.

## СОЗДАНИЕ МОЩНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ КАНАЛОВ

*Я. А. Крюков, С. В. Тютин, В. С. Цыкин,  
С. В. Хохлов, М. И. Коновальцов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Проведен расчет максимальной мощности [1] волоконного лазерного канала, собранного по схеме МОРА с использованием в качестве задающего генератора одночастотного волоконного лазера с шириной спектральной линии  $7,5 \times 10^{-8}$  нм.

Реализован инновационный способ увеличения ширины спектра в  $10^6$  раз при помощи двухкаскадной фазовой модуляции излучения задающего генератора [2, 3]. Впервые в России получено повышение порога ВРМБ более чем в 300 раз. Мощность выходного излучения составила 1 кВт, ширина спектра – 0,075 нм.

Предложена схема измерения ширины спектральной линии излучения при помощи отражательной дифракционной решетки.

### Список литературы

1. Беспрозванных В. Г., Первадчук В. П. «Нелинейные эффекты в волоконной оптике»: учебное пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011.
2. Pengfei Ma, Rumao Tao, Rongtao Su, Xiaolin Wang, Pu Zhou and Zejin Liu «1.89 kW all-fiberized and polarization-maintained amplifiers with narrow linewidth and near-diffraction-limited beam quality» // Optics Express. 2016. Vol. 24, N 4. P. 4187–4195.
3. Yanshan Wang, Yujun Feng, Yi Ma, Zhe Chang, Wanjing Peng, Yinhong Sun, Qingsong Gao, Rihong Zhu, Chun Tang «2.5 kW Narrow Linewidth Linearly Polarized All-Fiber MOPA With Cascaded Phase-Modulation to Suppress SBS Induced Self-Pulsing» // IEEE Photonics Journal. 2020. Vol. 12, N 3. P. 1865–1878.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИОНОВ $O^{5+}$ В КАНАЛАХ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ПРОТОНОВ И ЛЕГКИХ ИОНОВ НА ЭНЕРГИЮ 7,5 МЭВ/НУКЛОН**

*М. И. Макарова, А. С. Борисков, Л. Е. Поляков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время ускорители заряженных частиц находят все более широкое применение в различных прикладных областях: промышленности, электронике, медицине и т. д. В процессе проектирования ускоряющей структуры важную роль занимают участки транспортировки пучка, которые обеспечивают формирование пучка и его согласование с различными частями ускорителя.

В данной работе приводятся результаты расчетов динамики пучка протонов и ионов кислорода в каналах транспортировки низкой (LEBT) и средней (MEBT-1 и MEBT-2) энергии частиц линейного ускорителя протонов и легких ионов. Расчеты проведены в собственном программном коде, разработанном на языке программирования C++. В работе приведены полученные на выходе каждого канала эмиттансы и вид траекторий частиц при прохождении ими различных участков структуры.

Результаты расчетов коррелируют с расчетными данными, полученными с использованием других пакетов программ расчетов динамики заряженных частиц.

## **ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ БУСТЕРНОГО СИНХРОТРОНА ТЯЖЕЛО-ИОННОГО СИНХРОТРОННОГО КОМПЛЕКСА РФЯЦ-ВНИИЭФ**

*П. С. Моисеева, А. С. Борисков, С. А. Ермолаев, М. С. Ефремов,  
А. А. Жирунов, А. В. Машагин, А. М. Опекунов, Д. С. Павлов,  
М. Л. Сметанин, Р. П. Трунцева, Д. С. Чемезов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ создается ионный синхротронный комплекс для моделирования воздействия ионизирующих излучений космического пространства на изделия электронной компонентной базы [1]. В состав комплекса входит бустерный синхротрон, обеспечивающий ускорение широкого набора ионов от протонов до висмута с максимальной энергией протонов 700 МэВ и ионов висмута 36 МэВ/нуклон. Время перестройки режима ускорения типа ионов в «коктейле» составляет не более 30 минут. Особенностью бустерного синхротрона является возможность выпуска пучка ионов в двух режимах – медленный выпуск во всем диапазоне рабочих энергий и однооборотный выпуск на максимальной энергии. С помощью бустерного синхротрона станет возможным проводить эксперименты по оценке частоты одиночных радиационных эффектов при различных условиях эксплуатации.

Представлены конструктивно-компоновочные решения по реализации бустерного синхротрона. Представлены результаты расчета оптической структуры бустерного синхротрона, определены параметры основных элементов магнитной оптики. Отображены решения по реализации системы питания электромагнитов. Предложены технические решения по реализации вакуумной системы ускорителя, обусловленные ограниченным временем жизни ускоряемых ионов в остаточном газе. Представлена концепция системы управления и синхронизации установки в соответствии с рабочим циклом магнитного поля, обеспечивающая работу оборудования бустерного синхротрона.

### **Список литературы**

1. Будников Д. В. и др. Ядерные и электрофизические установки РФЯЦ-ВНИИЭФ: настоящее и будущее // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2021. Вып. 4. С. 5.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ОБЛУЧАТЕЛЬНОГО ЗАЛА БУСТЕРНОГО УСКОРИТЕЛЯ СИНХРОТРОННОГО КОМПЛЕКСА

*В. Р. Николаев, Н. Н. Курапов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В данной работе представлены результаты численного моделирования и оценки радиационных условий за пределами облучательного зала бустерного ускорителя (БУ) синхротронного комплекса. Целью работы является оценка безопасности нахождения персонала в помещениях, смежных с облучательным залом БУ, при различных режимах работы этого ускорителя, а также определение пределов энергии и интенсивности ионного пучка, безопасных для работы персонала. Расчеты проводились с помощью программного пакета Geant4 [1].

На первом этапе расчетов проведены теоретическая оценка [2, 3] и моделирование радиационных полей снаружи облучательного зала при ускорении протонов до максимальной энергии в 700 МэВ. Проведенные расчеты показывают, что биологическая защита данного помещения в полной мере не удовлетворяет требованиям обеспечения радиационной безопасности персонала ускорителя в режиме работы на максимальную энергию.

На втором этапе проведены расчеты для протонов с меньшими энергиями, в целях определения параметров пучков ускоренных частиц, при которых спроектированная радиационная защита являлась бы достаточной.

На третьем этапе расчетов проанализирован возможный уровень облучения за пределами облучательного зала при ускорении пучков нескольких типов ионов в ряде от  $\text{He}^4$  до  $\text{Bi}^{209}$ , и показана относительная радиационная безопасность для персонала в смежных помещениях при ускорении этих ионов.

На последнем этапе расчетов смоделированы радиационные поля за пределами облучательного зала при изменении угла ввода пучка заряженных частиц в облучательный зал. Показано увеличение поглощенной дозы в тестовых объектах, расположенных за пределами облучательного зала по направлению излучения, при сопутствующем уменьшении поглощен-

ной дозы в объектах, расположенных с разных сторон от направления прямого распространения пучка.

По итогам расчетов были предложены ограничения по максимальным энергиям и интенсивностям пучков заряженных частиц в нескольких режимах работы БУ, соблюдение которых позволит персоналу находиться в помещениях, смежных с облучательным залом, без опасности получения повышенной дозовой нагрузки.

### Список литературы

1. Agostinelli S. et al. Geant4 – a simulation toolkit // Nuclear Instruments and Methods of Physics Research. 2003. Section A, Vol. 506(3), P. 250–303.

2. Комочков М. М., Лебедев В. Н. Практическое руководство по радиационной безопасности на ускорителях заряженных частиц. М.: Энергоатомиздат, 1986.

3. Тимошенко Г. Н. Радиационная защита высокоэнергетичных ускорителей. Дубна: Издательский отдел ОИЯИ, 2022.

## РОЛЬ НЕОДНОРОДНОГО УШИРЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СПЕКТРОВ ЛАЗЕРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ $\text{Yb}^{3+}$

*О. Н. Николаева, Я. В. Кривошеев*

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г. Обнинск Калужской обл.

В последние годы растет интерес к лазерным средам, активированным ионами лантаноидов, в частности,  $\text{Yb}$ . В АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» синтезированы жидкие лазерно-активные среды, активированные ионами  $\text{Yb}^{3+}$ , на которых получена лазерная генерация. Для осознанного использования лазерной среды требуется знать характеристики актуальных для получения генерации переходов. До последнего времени форму этих переходов описывали контурами Лоренца или Гаусса. В реальности любой переход подвержен обоим типам уширения и описывается контуром Фойгта.

В данной работе путем разложения спектров поглощения и люминесценции на контуры Фойгта были получены характеристики переходов между уровнями  $\text{Yb}^{3+}$  в составе апротонных лазерных жидкостей. Проведен анализ спектров трех соединений  $\text{Yb}^{3+}$ : на основе трифторацетата, хлорида и тетрахлорметана. Результаты исследований позволили выявить влияние матрицы-окружения на штарковское расщепление состояний иона  $\text{Yb}^{3+}$  и получить количественное соотношение ее влияния на соотношение однородной и неоднородной составляющих в контурах, которое невозможно получить при разложении на контуры только Гаусса или только Лоренца.

## ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЛАЗЕРНОЙ КЕРАМИКИ

*И. В. Касьянов, Р. П. Кононова, А. А. Новоселов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Приведены результаты исследований параметров отечественных активных элементов, выполненных из оптической лазерной керамики YAG:Nd<sup>3+</sup>. Достигнута энергия лазерного излучения в режиме свободной генерации ~200 мДж, максимальное усиление слабого сигнала в имеющихся образцах составило 22. Результаты экспериментов позволяют оценить лазерно-генерационные свойства отечественной керамики.



## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО МАЛОИНФОРМАТИВНОМУ ПОЛЮ РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*А. А. Ногтев, А. В. Белинский*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

В данном докладе представлены результаты летно-экспериментальных работ при использовании способа повышения точности корреляционно-экстремальной навигационной системы (КЭНС) за счет применения алгоритма выявления в принятой информации от радиовысотомера (РВ) наличия линейных ориентиров и осуществления навигационной привязки к ним, а также обужения диаграммы направленности для принимаемых в РВ сигналов, благодаря методу стробирования принимаемых радиовысотомером отраженных импульсов.

Многие из известных способов повышения точности КЭНС требуют значительных затрат на проектирование и реализацию, либо сильно увеличивают время на обработку сигналов радиовысотомера, которая должна осуществляться в реальном времени. Проблемой является нахождение эффективных способов, которые позволят повысить точность навигации без существенных затрат и снижения скорости обработки сигналов.

Во время проведения экспериментальных исследований радиолокационного корректора системы автономной навигации были решены следующие задачи:

- произведена проверка функционирования всей КЭНС в целом;
- произведена оценка правильности работы навигационных алгоритмов с привязкой к линейным ориентирам;
- произведена оценка работоспособности алгоритма стробирования отраженных сигналов.

Применение алгоритма стробирования отраженных сигналов и использование информации о наличии линейных ориентиров при движении КЭНС по заданным траекториям над малоинформативными участками местности повышает точность определения навигационного местоположения движущегося объекта с установленной на нем КЭНС, что было подтверждено не только результатами теоретических проработок, но и результатами, полученными при проведении летных экспериментальных исследований.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ СТЕПЕНИ ПРОГРЕВА МИШЕНЕЙ, ОБЛУЧАЕМЫХ МОЩНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

*Д. С. Носуленко, Д. А. Вихляев, Д. С. Гаврилов, Е. С. Борисов,  
С. Д. Девятков, А. В. Емельянов, Н. Г. Карлыханов, П. А. Лобода,  
А. А. Овечкин, С. Н. Пахомов, Е. А. Пряхина, А. В. Потапов,  
Н. Ю. Титаренко*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

На пикосекундной лазерной установке проведены эксперименты по исследованию степени прогрева алюминиевых мишеней по спектрам многозарядных ионов при интенсивностях лазерного излучения  $I \sim 10^{17} \div 10^{19}$  Вт/см<sup>2</sup>.

Для измерения характеристического спектра плазмы алюминия применялся спектрограф на основе кристалла КАР, работающий по схеме Иоганна.

При облучении фольг толщиной от 1 до 400 мкм зарегистрированы линии внутриоболочечных переходов алюминия с различной степенью ионизации. На спектрах заметно уменьшение выхода линейчатого излучения H- и He-подобных ионов из мишеней толщиной 400 мкм по сравнению с остальными.

Величина эффективной температуры плазмы алюминия не зависит от толщины мишеней и возрастает с 0,3 кэВ до 0,8 кэВ при увеличении интенсивности лазерного излучения с  $10^{17}$  Вт/см<sup>2</sup> до  $10^{19}$  Вт/см<sup>2</sup>.

Для мишеней, облучаемых с интенсивностью  $10^{17} \div 10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup>, проведены газодинамические расчеты, в которых ионный состав плазмы соответствует фактической плотности энергии излучения, а также учитывается однородное уширение линий. Получено удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных спектров.

Результаты измерения выхода линейчатого излучения многозарядных ионов и нейтральных атомов алюминия при различной интенсивности лазерных импульсов показывают наличие рециркуляции электронов в мишенях. Возможно, учет данного эффекта при моделировании процессов, происходящих при взаимодействии мощного лазерного излучения с веществом, позволит улучшить согласие результатов расчетов с экспериментами.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСКОРЯЮЩЕГО РЕЗОНАТОРА С ПРОСТРАНСТВЕННО-ОДНОРОДНОЙ КВАДРУПОЛЬНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

*Д. В. Павлов, М. А. Гузов, А. М. Опекунов, П. В. Опеньшев, Л. Е. Поляков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ спроектирован и изготовлен ускоряющий резонатор с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой (ПОКФ) на энергию протонов 1 МэВ. На этапе разработки проведен цикл расчетов электродинамических характеристик резонатора с ПОКФ, таких как собственная частота, добротность и распределение электромагнитного поля. Проведен расчет динамики протонов в ускоряющей структуре. Разработана методика исследования электродинамических характеристик ускоряющей структуры, основанная на методе малых возмущений [1, 2]. Спроектирован набор возмущающих зондов для проведения измерений. На основе полученных данных доказана возможность ускорения протонов до энергии 1 МэВ в резонаторах с ПОКФ.

Результаты работы доказывают возможность дальнейшего применения разработанной методики и использование полученных в ходе проектировки зондов для измерения электродинамических характеристик резонансных структур.

### Список литературы

1. Вальднер О. А., Собенин Н. П., Зверев Б. В., Щендрин И. С. Диафрагмированные волноводы. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 280.
2. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. 1970. С. 440.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГМОИДАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В УСКОРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ

*Г. Ю. Полина, Е. С. Михайлов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Вакуумные тракты безжелезных линейных индукционных ускорителей ЛИУ-10М и ЛИУ-Р-Т ограничены по радиусу внутренними поверхностями секционированных изоляторов индукторов и металлических дрейфовых труб между ними [1, 2]. Расчет электрических полей в вакуумном тракте линейного индукционного ускорителя сводится к задаче нахождения электрического поля в металлической трубе с аксиальными зазорами, распределение электрического потенциала в которых линейно. Аналитическое вычисление электрического поля приводит к интегралам Фурье с бесконечными пределами или к рядам Фурье [3, 4], в которых необходимо учесть довольно большое число членов разложения (не менее 10) для достижения необходимой точности, что делает вычисления довольно громоздкими. Использование аналитической аппроксимации позволит значительно упростить процесс расчета электрических полей.

В данной работе для описания распределения напряженности электрического поля использована экспоненциальная сигмоида [5]. Расчеты, выполненные с помощью данной функции, сопоставлены с результатами решения в виде разложения в ряд Фурье, а также с расчетами, проведенными в программах для 2-х мерного моделирования. Расхождение между результатами приведенных расчетов, выполненных для линейного индукционного ускорителя, не превышает 5 %.

### Список литературы

1. Босамыкин В. С., Герасимов А. И., Гордеев В. С. Безжелезные линейные индукционные ускорители электронов – мощные генераторы коротких импульсов тормозного излучения // Высокие плотности энергии. Сборник научных трудов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 1997.

2. Гордеев В. С., Мысков Г. А., Михайлов Е. С. Проект линейного индукционного ускорителя электронов ЛИУ-Р// Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Научно-исследовательское издание. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2008. С. 120–127.
3. Силады М. Электронная и ионная оптика. М.: Мир, 1990.
4. Вахрушин Ю. П., Анацкий А. И. Линейные индукционные ускорители. М.: Атомиздат, 1978. С. 248.
5. Вакуленко С. А., Жихарева А. А. Практический курс по нейронным сетям. СПб: Университет ИТМО, 2018.

## РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ФОКУСИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ УСКОРИТЕЛЯ ЛИУ-Р-Т

*И. В. Пронин, Е. С. Михайлов, Н. Н. Утюмов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В работе представлены результаты расчетов магнитного поля для двух конструкций фокусирующего устройства ускорителя ЛИУ-Р-Т [1]: с блоком ленточных катушек, входящего в состав действующего устройства, и с модернизированным блоком, включающим двухзаходный спиральный соленоид, который предполагает лучшие ресурсные характеристики.

Получены осевые распределения индукции магнитного поля в фокусирующем устройстве. Показана возможность достижения магнитного поля 32 Тл. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными показало хорошее, в пределах 10 %, их соответствие.

Проведено численное моделирование процесса фокусировки электронного пучка ускорителя ЛИУ-Р-Т для рассчитанных распределений магнитного поля представленных конструкций фокусирующего устройства. Проведен сравнительный анализ характеристик сфокусированного пучка электронов. Показано, что модернизированное фокусирующее устройство, на основе двухзаходного спирального соленоида не уступает по своим возможностям действующему фокусирующему устройству.

### Список литературы

1. Основные достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ 2018. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. С. 32–33., С. 35–36.

## ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСКОРИТЕЛЯ ЛИУ-Р-Т

*И. В. Пронин, Е. С. Михайлов, Н. Н. Утюмов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Разработана расчетная модель ускорителя [1–2], включающая в свой состав инжектор, индукторы, тракт транспортировки и фокусирующее устройство.

Проведено численное моделирование динамики электронного пучка в ускорителе. Показано, что снижение диаметра цилиндрического катодного электрода с 19 до 8 мм позволяет уменьшить диаметр фокусного пятна на мишени с 6,0 до 2,8 мм. Однако уменьшение размеров фокусного пятна посредством уменьшения диаметра катода, приводит к заметному снижению амплитуды тока пучка с 11,7 до 7,0 кА, т. е. примерно в 1,7 раза, что влечет примерно такое же снижение дозы тормозного излучения. Результаты расчетов достаточно хорошо согласуются с результатами экспериментальных данных.

Полученные данные свидетельствуют, что разработанная расчетная модель может быть в дальнейшем использована для численных исследований режимов инжекции, ускорения и фокусировки сильноточных импульсных электронных потоков в ускорителе ЛИУ-Р-Т с целью сопро-вождения экспериментальных исследований.

### Список литературы

1. Басманов В. Ф., Гордеев В. С., Гришин А. В., Завьялов Н. В., Мысков Г. А., Назаренко С. Т. Обзор сильноточных импульсных ускорителей электронов, созданных в РФЯЦ-ВНИИЭФ на базе ступенчатых линий// Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2015. Вып. 20, Ч. 1. С. 172–183.
2. Основные достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ 2018. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. С. 32–33., С.35–36.

## ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ СИЛЬНОТОЧНОГО РАЗРЯДА

*Д. С. Прохоров, Ю. Н. Долин, А. Е. Калинычев,  
Г. В. Карпов, А. А. Шаталин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Показана возможность возбуждения электромагнитного импульса рентгеновским излучением сильноточного разряда типа вакуумной искры. Для этого проведена модернизация существующего стенда, выполненного по классической схеме микропинцевого устройства [1] с тригatronным иницированием межэлектродного пробоя. В модернизированном варианте иницирование осуществляется импульсным напуском газа, что позволило почти на два порядка повысить интенсивность генерируемого рентгеновского излучения. Кроме того, проведены изменения зарядных и пусковых схем, использована волоконно-оптическая гальваническая развязка в измерительных цепях. Все это позволило снизить до приемлемого уровня паразитные искажения измеряемых сигналов. Выполнены первые эксперименты по возбуждению электромагнитного импульса рентгеновским излучением сильноточного разряда.

### Список литературы

1. Короп Е. Д., Мейерович Б. Э. и др. Микропинч в сильноточном диоде // Успехи Физических Наук. 1979. Т. 129. Вып. 1. С. 87–112.



## **ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ НАСТРОЙКИ КРИСТАЛЛОВ KDP ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФАЗОВОГО СИНХРОНИЗМА 1-ГО ТИПА ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ НА ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

*В. М. Рябцев, А. В. Зубков, А. М. Болтаев,  
В. П. Коваленко, С. А. Макаров*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ИЛФИ, г. Саров Нижегородской обл.

Проведены измерения углов настройки кристаллов KDP на установке нового поколения для обеспечения фазового синхронизма 1-го типа [1, 2] при генерации второй гармоники рабочего излучения установки ( $\lambda = 1053$  нм). В процессе измерений кристалл поворачивается по углу с шагом 200 мкрад в пределах центрального и первых побочных максимумов преобразования, и в каждой точке измеряется энергия излучения 2-й гармоники. Значения углов настройки для каждого кристалла определяются по положению максимума преобразования излучения во вторую гармонику на угловой кривой синхронизма с учетом температуры кристаллов. Суммарная погрешность измерения не превышает 30 мкрад (внешний угол). Результаты измерений полностью согласуются с полученными ранее результатами [3].

### **Список литературы**

1. Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В. Прикладная нелинейная оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. С. 512.
2. Гурдазян Г. Г., Дмитриев В. Г., Никогосян Д. Н. – Нелинейно-оптические кристаллы. М., 1991.
3. Рябцев В. М., Зубков А. В., Кедров А. И., Коваленко В. П. Измерение углов настройки кристаллов KDP для обеспечения фазового синхронизма 1-го типа при генерации второй гармоники // 20-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке». 2022.

## **ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА РЕЖИМ РАБОТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЛОВ**

*Л. Е. Спиркина, Л. А. Ларина, А. Е. Дубинов, Г. Н. Колесов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При расчете СВЧ-генератора типа лампы обратной волны (ЛОВ) рассчитывают дисперсионную и амплитудно-частотную характеристики для замедляющей структуры, по которой определяются возможные оптимальные частоты генерации и рабочее напряжение, при котором обеспечивается условие синхронизма – совпадение скорости электронов с фазовой скоростью электромагнитной волны в замедляющей структуре при данной частоте.

В мощных релятивистских ЛОВ используется катод со взрывной эмиссией, что приводит к увеличению тока в системе, и соответственно, к росту величины пространственного заряда в ней. Наличие пространственного заряда приводит к провисанию потенциала и падению скорости электронов в пучке, которые необходимо учитывать при расчете режимов работы ЛОВ.

В данной работе для оценки влияния пространственного заряда на режимы работы ЛОВ было проведено численное моделирование методом крупных частиц с помощью программы «Карат» [1]. Был получен диапазон токов, в котором наблюдается наиболее оптимальный режим работы ЛОВ.

### **Список литературы**

1. Tarakanov V. P. User's Manual for Code KARAT. Berkley Res. Associates. Springfield, 1992.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ ДЕТОНАЦИИ  
ПО МЕТОДУ ПРОДОЛЬНОГО КЛИНА.  
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЕЛИЧИНУ КРИТИЧЕСКОЙ  
ТОЛЩИНЫ ДЕТОНАЦИИ НИЗКО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО  
ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ТАТБ**

*А. Е. Тепляков, Е. Б. Смирнов, А. В. Сарафанников, К. М. Просвирнин,  
И. Г. Галиуллин, К. В. Еганов, К. М. Мирошкин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Критическая толщина детонации – один из определяющих показателей взрывчатых веществ, характеризующий его детонационную способность. Определение критической толщины детонации является не маловажной задачей при разработке, отработке технологии изготовления и контроля качества изготовления серийных и новых взрывчатых веществ (ВВ).

В газодинамическом отделении ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» определение критической толщины детонации термопластичных ВВ проводится, как правило, по методу продольного клина, обладающего простотой и наглядностью полученных результатов – затухание детонационного процесса фиксируется на плите-отметчике, а также с использованием электроконтактной и фотохронографической метод регистрации.

На величину критической толщины детонации могут оказывать влияние многие факторы, связанные как с химической структурой ВВ, технологией изготовления ВВ, так и физическими параметрами окружающей ВВ среды – материалом ограничивающих оболочек, температурой среды и др.

В настоящей работе проведены исследования по оценки влияния на критическую толщину детонации следующих факторов:

- различных материалов ограничивающих оболочек, отличающихся динамической жесткостью;
- температуры проведения экспериментов в диапазоне изменения от  $-90^{\circ}\text{C}$  до  $+90^{\circ}\text{C}$ ;
- пористости ВВ в диапазоне изменения от  $1^{\circ}$  до  $3^{\circ}$ ;
- доли высокочувствительного взрывчатого наполнителя в смесевом ВВ

В результате проведенных исследований установлено влияние каждого рассмотренного параметра на величину критической толщины детонации, определенной по методу продольного клина.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛА ВВОДА ВЧ МОЩНОСТИ ДЛЯ УСКОРЯЮЩИХ РЕЗОНАТОРОВ ТЯЖЕЛОИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭНЕРГИЮ 4 МЭВ/НУКЛОН

*Д. С. Труфанов, Л. Е. Поляков, М. Л. Сметанин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ ведутся работы по разработке синхротронного комплекса для исследования воздействия ионизирующих излучений космического пространства на элементы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [1]. Проектируемый комплекс включает два линейных ускорителя-инжектора, которые формируют основные параметры пучка: источник протонов и легких ионов ЛУ1 и источник тяжелых ионов ЛУ2 [2].

В основной части ЛУ2 используются отдельные индивидуально фазуемые ускоряющие резонаторы с трубками дрейфа, каждый из которых имеет собственное ВЧ питание. В тракте ВЧ транспортировки от генератора к ускоряющей структуре одним из ключевых компонентов является узел ввода ВЧ мощности (УВМ). Это устройство позволяет с минимальными потерями передавать в резонатор ВЧ сигнал. Основным элементом ВЧ тракта – коаксиальный фидер воздушного заполнения.

В работе представлен трехмерный расчет электродинамических характеристик (ЭДХ) узла ввода ВЧ мощности (УВМ) в ускоряющий четвертьволновый и ИН-резонатор, работающие на частоте 81,25 МГц и 162,5 МГц соответственно.

УВМ смоделирован с использованием петли в качестве элемента связи с резонатором. Узел предназначен для работы в качестве устройства, позволяющего связывать питающий ВЧ генератор с ускоряющими резонаторами с трубками дрейфа. УВМ должен обеспечивать уровень согласования с коэффициентом стоячей волны по напряжению  $K_{СВн} \leq 1,1$  подводящего фидера с резонаторами в диапазоне частот 81–82 МГц и 162–163 МГц.

В результате проведенного численного трехмерного моделирования выбрана конструкция УВМ с определенными радиотехническими и электродинамическими характеристиками и рассчитанными основными геометрическими размерами.

### Список литературы

1. Завьялов Н. В. Исследовательские установки РФЯЦ-ВНИИЭФ для экспериментального получения фундаментальных и прикладных знаний в области ядерной, радиационной физики и физики быстропротекающих процессов //Успехи физических наук. 2021. Т. 191, № 9.
2. Будников Д. В. и др. Ядерные и электрофизические установки РФЯЦ-ВНИИЭФ: настоящее и будущее //ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2021. Вып. 4. С. 5.

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОГО КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ**

*Е. А. Фролова, К. А. Иванов, А. С. Конкин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время ИЯРФ в рамках тематики НЦФМ участвует в разработке перспективного источника гамма-квантов высокой энергии, основанного на обратном комптоновском эффекте. Источники данного типа отличаются высокой угловой направленностью, яркостью и монохроматичностью излучения, вследствие чего нашли широкое применение в различных областях науки. Для генерации фотонов высокой энергии в данных источниках используется обратное комптоновское рассеяние лазерных фотонов на ультрарелятивистских электронах. В докладе содержится описание физики обратного комптоновского рассеяния и конструкции источника, а также расчетные оценки необходимых параметров лазерной системы на основе полученных параметров электронного пучка разрабатываемой установки.

## РАСЧЕТ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ МОНИТОРА ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА РАЗРЕЗНОГО ТИПА ТЯЖЕЛО-ИОННОГО СИНХРОТРОНА

*Е. В. Хробостова*<sup>1</sup>, *Л. Е. Поляков*<sup>2</sup>, *А. М. Опекунов*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

<sup>2</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ ведутся работы по разработке синхротронного испытательного комплекса (СКИ) для проведения радиационных испытаний [1, 2]. В ускорителях разных типов пучки заряженных частиц подвержены группировке, фокусировке, ускорению, охлаждению, транспортировке и т. п. Следствием воздействия внешних возмущений является то, что движение пучка частиц в реальном ускорителе отличается от расчетного. Поэтому существует необходимость контроля параметров пучка, в частности его поперечного положения в процессе ускорения и транспортировки. Для этих целей используются такие устройства как мониторы положения пучка (МПП).

В кольцевых ускорителях комплекса СКИ предполагается использование линейных разрезных МПП. В программе трехмерного электродинамического моделирования построены трехмерные модели линейного разрезного МПП. Приведены результаты расчетов напряжений датчиков при различных параметрах пучка протонов и ионов и при определенных энергиях на каждом этапе ускорения (для протонного пучка: при инжекции в бустер – 7,5 МэВ, при выводе из бустера и в вводе в ОС – 700 МэВ, при выводе из ОС – 4 ГэВ; для пучка ионов висмута  $\text{Bi}^{41+}$ : при инжекции в бустер – 832 МэВ, при выводе из бустера и в вводе в ОС – 7,5 ГэВ, при выводе из ОС – 83 ГэВ).

Полученные в результате расчетов значения напряжений на датчиках МПП при отклонении траектории движения центра масс пучка удовлетворяют точности измерения положения пучка в каналах кольцевых ускорителей СКИ.

### Список литературы

1. Завьялов Н. В. Исследовательские установки РФЯЦ-ВНИИЭФ для экспериментального получения фундаментальных и прикладных знаний в области ядерной, радиационной физики и физики быстропротекающих процессов // Успехи физических наук. 2021. Т. 191, № 9.
2. Будников Д. В. и др. Ядерные и электрофизические установки РФЯЦ-ВНИИЭФ: настоящее и будущее // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2021. Вып. 4. С. 5.



## РАЗРАБОТКА НИЗКОИНДУКТИВНОГО РАЗРЯДНИКА-ОБОСТРИТЕЛЯ ДЛЯ СИЛЬНОТОЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

*А. А. Шаталин, А. Е. Калинычев, Г. В. Карпов,  
Е. В. Краев, Д. С. Прохоров*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В докладе изложены результаты разработки [1] компактного разрядника-обострителя с индуктивностью менее 0,1 нГн, обеспечивающего наносекундную коммутацию мультимегаамперных токов. Оригинальный принцип работы разрядника основан на поэтапном пробое многослойного пленочного изолятора с вложенной фольговой пластиной, находящейся под плавающим потенциалом. Резкое изменение потенциала фольги после одноканального начального самопробоя между фольгой и одним из электродов приводит к многоканальному вторичному пробоею между фольгой и другим электродом. В местах пробоя генерируются кумулятивные плазменные струи, инициирующие формирование сквозных токовых каналов между электродами на заключительном этапе пробоя. В работе описаны технологические приемы создания пленочных макетных сборок, представлены результаты испытаний на специальном высоковольтном стенде. Отработана технология изготовления на их основе разрядника-обострителя на рабочее напряжение до 40 кВ. Созданное устройство испытано при токах ~1,5 МА. Показано, что разработанный разрядник-обостритель обладает наносекундным временем срабатывания и вносит в токовый контур дополнительную индуктивность порядка 0,01 нГн.

### Список литературы

1. Галанова Е. А., Долин Ю. Н., Ивановский А. В. и др. Многоканальный неуправляемый разрядник нового типа для наносекундной коммутации мегамперных токов // Доклады российской академии наук. Физика. Технические науки. 2022. Т. 506, № 2. С. 34–39.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА НА ГОРЕНИЕ В ЗАМКНУТОМ КАНАЛЕ

*С. А. Яковлев, Е. В. Безгодов, В. В. Стаханов, С. Д. Пасюков,  
А. А. Тараканов, И. А. Попов, М. В. Никифоров*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

В мире происходит развитие технологий водородной энергетики (ВЭ) в различных сферах применения. Водород и воздух (кислород) образуют горючую смесь с наибольшим энерговыделением на единицу массы. Также смесь является одной из наиболее легко воспламеняемых в широком концентрационном диапазоне горючего [1]. Возникновение аварийной ситуации на объектах ВЭ может привести к образованию взрывоопасного водородно-воздушного облака. Воспламенение облака может привести к взрыву с потенциальным нанесением ущерба помещениям, персоналу и близлежащему оборудованию с возможным инцидированием каскадной аварии. Т. е. вопрос обеспечения безопасности на объектах ВЭ является актуальным.

Истечение водорода в помещении или сооружении (каналы, тоннели, трубы) является одним из вероятных аварийных сценариев. В результате истечения в верхней части помещения за счет плавучести водорода образуется стратифицированная водородно-воздушная смесь. Похожий сценарий может произойти и на АЭС при осушении активной зоны реактора [2]. В случае воспламенения водородно-воздушной смеси пламя за счет совокупности процессов (турбулизация, диффузионно-тепловые неустойчивости, неустойчивости Ландау-Дарье и т. д.) может ускориться до скоростей, близких к скорости звука в продуктах горения. Ускорение пламени влечет изменение режима распространения на дефлаграционный, квази-детонационный и детонационный режимы. Распространение горения в таких режимах приводит к образованию ударных волн.

В работе [3], выполненной ранее, командой РФЯЦ-ВНИИТФ проводились экспериментальные исследования влияния градиента водородно-воздушной смеси на скорость фронта пламени, избыточное давление го-

рения. Было замечено, что с увеличением градиента объемной доли водорода избыточное давление горения в смесях со средней объемной долей водорода 9,1–9,4 об. % уменьшается. Зависимость скорости фронта пламени от градиента объемной доли горючего в работе [3] не наблюдалась.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований дефлаграции и детонации водородно-воздушной смеси с вертикальным градиентом объемной доли водорода в закрытом канале с перегородками. Канал имеет квадратное сечение  $0,6 \times 0,6$  м<sup>2</sup> и длину 12 м. Среднее содержание водорода в экспериментах варьировалось от 9 до 15 об. %.

### Список литературы

1. Термодинамика горения и взрыва водорода / Б. Е. Гельфанд [и др.]. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. С. 584.

2. Кириллов И. А., Харитоновна Н. Л., Шарафутдинов Р. Б. и др. Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторными установками. Современное состояние проблемы // Ядерная и радиационная безопасность. 2017. № 2 (48). С. 12.

3. Яковлев С. А., Безгоднов Е. В., Стаханов В. В. и др. Экспериментальные исследования процессов горения стратифицированных и равномерно перемешанных водородно-воздушных смесей в замкнутом объеме / XI научный семинар «Моделирование технологий ядерного топливного цикла» // Сборник материалов. Снежинск: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», 2023. С. 41–42.

# Секция 3

ИНЖЕНЕРНЫЕ НАУКИ

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ С НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

*Д. А. Алешин, Д. А. Ульянов, М. А. Константинов*

НГТУ им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород

Современное развитие промышленного комплекса предъявляет все новые и жесткие требования к системам накопления энергии. В настоящее время одним из популярнейших способов запаса электрической энергии являются электрохимические аккумуляторные батареи (АКБ). Для повышения рабочих напряжений АКБ применяется последовательное соединение отдельных гальванических элементов. Однако из-за отклонения электрических параметров элементов в составе АКБ происходит недозаряд или перезаряд элементарных ячеек в составе АКБ. Данная проблема решается посредством использования балансировочных цепей. Статья посвящается созданию системы балансировки аккумуляторных батарей с напряжением до 1000 В и проблеме выравнивания заряда в многоэлементных АКБ, работающий в динамических режимах с различной глубиной заряда и разряда. Предлагается адаптированный способ балансировки, позволяющий выравнивать заряд АКБ на протяжении всего этапа заряда. Способ заключается в формировании средней величины заряда аккумулятора на основании измерения напряжения каждого элемента АКБ. Пропорционально отклонению напряжения на элементе от средней величины формируется низкочастотный импульсный сигнал управления балансировочными цепями. Предложенный способ может быть применен как для пассивных методов балансировки на базе балластных резисторов, так и для более эффективной эксплуатации цепей, выполненных на электромагнитных системах перераспределения энергии между гальваническими элементами. Преимуществом предложенного метода является более точное и быстрое выравнивание напряжения между элементами АКБ по сравнению классическим методом балансировки.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ИНТЕРФЕЙСА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВА-ОТЛАДЧИКА CAN-ШИНЫ**

*В. С. Арсенова, В. А. Краев, А. В. Зарубин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время в промышленной автоматизации широко распространен стандарт сети CAN, ориентированный на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков и обеспечивающий обмен данными между ними. При коммуникации с такими устройствами инженеры столкнулись с рядом проблем, таких как: проверка их работоспособности, выявление неполадок, диагностика ошибок и т. д.

В данном докладе представлена реализация программного обеспечения с графическим интерфейсом пользователя, обеспечивающее взаимодействие с устройством-отладчиком CAN-шины. Для создания программного обеспечения на ЭВМ используется среда разработки Qt Creator, которая включает в себя графический интерфейс отладчика и визуальные средства разработки интерфейса. Разработан терминал, который формирует посылки в CAN-формате, способен отправлять, принимать данные и предоставляет информацию о сообщении в удобном для пользователя формате. Разработан терминал, который позволяет отслеживать передаваемые данные с устройства-отладчика на ЭВМ и обратно. Передача данных осуществляется по СОМ-порту посредством стандарта UART. Для каждого из терминалов разработан уникальный графический интерфейс для корректного взаимодействия пользователя с программным обеспечением.

## ГРАДУИРОВКА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ГАЗОВОГО КЛАПАНА

*А. В. Барабанов, А. С. Белов<sup>1</sup>, В. Н. Зубец<sup>1</sup>, А. В. Турбабин<sup>1</sup>,  
О. Т. Фролов<sup>1</sup>, П. Н. Цедрик, А. В. Щербаков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup>ФГБУН «ИЯИ РАН», Москва

Для создания оптимальной плотности газовой среды в различных системах используют устройства прецизионной инжекции газа. Газ может подаваться как непрерывно, так и импульсно. В ряде случаев использование стационарного (постоянного) режима напуска газа неэффективно по причине значительного расхода газа и, соответственно, более высоких требований к вакуумной откачке (при ее наличии). Использование импульсного режима напуска газа позволяет минимизировать эти недостатки. В некоторых приложениях реализация импульсного режима напуска газа обеспечивается быстродействующими электромагнитными клапанами. Ввиду отсутствия коммерчески доступных быстродействующих прецизионных электромагнитных клапанов (субмикросекундного диапазона) был разработан специализированный клапан.

Для регулируемой подачи необходимого количества рабочего газа с учетом собственной утечки клапана определена взаимосвязь параметров управляющего импульса и количества инжектированных атомов газа. Исследование проводилось на экспериментальном стенде, состоящим из баллона высокого давления, группы газовых редукторов, манифолда, электромагнитного газового клапана, вакуумной камеры, импульсного вакуумметра и прецизионного манометра. Приводятся принцип действия и конструкция быстродействующего электромагнитного клапана. Методика определения количества инжектированных атомов газа основана на расчете разницы давления в манифолде (камера известного объема) за определенный период времени при расходе газа через электромагнитный клапан. При токе электромагнита клапана 21,8 А за один импульс (длительность порядка 300 мкс) напускается  $\sim 5,3 \times 10^{17}$  атомов рабочего газа. В качестве рабочего газа использовался аргон.

## РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕВОГО ОКСИДА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛДМОП-ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

*А. С. Белов, М. В. Боброва, Н. С. Шишкина*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

Одной из наиболее критичных характеристик ЛДМОП-транзисторов является сопротивление включения. Для снижения сопротивления включения используют полевые оксиды – толстые изолирующие слои оксида кремния над дрейфовой областью стока [1]. Традиционно в качестве полевого оксида используют LOCOS, однако длительное температурное воздействие приводит к неконтролируемому перераспределению примеси в сформированных активных областях транзистора. Альтернативным является метод FOX [2], с меньшим температурным воздействием на пластину. Оксид типа FOX обладает лучшей однородностью по толщине и имеет плавный пологий профиль [2]. При использовании FOX регистрируется улучшение сопротивления включения при аналогичном уровне напряжения пробоя.

Анализ источников литературных данных показал наличие общей информации по набору слоев для формирования FOX без указания конкретных методов их осаждения. Таким образом, актуальность работы заключается в разработке комбинации слоев и определении оптимальных методов их формирования для получения необходимого профиля FOX.

Целью настоящей работы является исследование и разработка операций блока формирования FOX, характеризующегося высокой равномерностью по толщине и углом наклона боковых стенок от  $40^\circ$  до  $60^\circ$ .

В задачи работы входит определение и обоснование структуры FOX, исключение воздействие реактивного ионного травления на поверхность кремния в процессе формирования профиля полевого оксида, разработка и интеграция в маршрут изготовления пластин с кристаллами СБИС блока операций формирования FOX.

В результате выполнения настоящей работы разработана последовательность операций блока формирования FOX, необходимого для изго-



товления высоковольтных ЛДМОП-транзисторов. Разработана новая операция формирования FOX на основе оксида кремния экстремально высокой плотности, установлено, что плотность оксида увеличивается при осаждении из смеси с недостатком TEOS.

### Список литературы

1. Tsui P. G. Y., Gilbert P. V., and Sun S. W. Integration of Power LDMOS into a Low-Voltage 0.5  $\mu\text{m}$  BiCMOS Technology/ P. G. Y Tsui and other // IEEE IEDM Digest. 1992. P. 27–30.

2. Jongdae Kim, Sang-Gi Kim, Tae Moon Roh, Hoon Soo Park, Jin-Gun Koo, and Dae Yong Kim Characteristics of P-channel SOI LDMOS Transistor with Tapered Field Oxides / Kim Jongdae and other // Proceeding of ISPSD. 1998. P. 375–378.

## ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ АНАЛОГОВ ДЕТЕКТОРОВ ТЛД-500К

*М. Г. Березовская, В. П. Шукайло, В. Б. Бычков, В. А. Шелан,  
К. Г. Топорищев, И. В. Торопов, А. Е. Шестаков, Р. Р. Фазылов,  
Ю. Н. Долинский*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Научные исследования последних лет указывают на возможность использования наноструктурной керамики оксида алюминия в качестве аналога детектора ТЛД-500К с диапазоном измерения доз бета-излучения вплоть до  $10^4$  Гр. Однако у авторов работ чрезвычайно расходятся данные об условиях высокотемпературного отжига образцов для повышения их выхода люминесценции и отсутствуют данные о регистрации доз гамма-излучения таким типов детекторов.

Цель данной работы заключалась в отработке технологии изготовления наноструктурных аналогов детекторов ТЛД-500К для регистрации высоких доз гамма-излучения.

В качестве исходного материала для компактирования использовался порошок наноксида алюминия, со средним массовым размером 50–70 нм. Компакты изготавливались методом прямого одноосного компрессионного прессования. Далее изготовленная партия наноструктурных компактов подвергалась процедуре высокотемпературного отжига в электровакуумной печи в присутствии графита. При проведении исследования варьировались значения конечной температуры отжига (от 1200 до 1700 °С), времени отжига (от 13 до 300 минут), использовались различные подложки образцов, а также механизм ступенчатого отжига.

В результате проделанной работы было показано, что условия высокотемпературного отжига наноструктурных компактов при температуре 1700 °С в течение короткого промежутка времени являются оптимальными для формирования стабильного фазового состояния детекторов и достаточного количества в них центров люминесценции. Детекторы, полученные в таких условиях, показывают сублинейный характер дозовой зависимости в диапазоне облучения от 0,1 до 10 000 кР.

## СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ НАСОСОВ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

*Д. Е. Бесчеров, М. Н. Ереев, Д. А. Куликов, М. Г. Маслов,  
М. С. Порфирьев, Д. В. Савчук*

АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

К современным центробежным насосам реакторных установок предъявляются требования по низкому уровню вибрации и шума.

Наиболее важным следствием воздействия вибрации на насос является накопление повреждений при циклическом изменении нагрузки. Этот процесс приводит к образованию и распространению трещин, которые в конечном итоге разрушают конструкцию.

Задача исследования вибрационных характеристик центробежных насосов актуальна для современных реакторных установок и требует комплекс связанных расчетов гидродинамики и вибрации.

В качестве объекта исследования в данной работе рассматривается центробежный насос, обеспечивающий выбранные гидравлические характеристики:

- расход  $Q = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- напор  $H = 30 \text{ м}$ .

Обеспечение требующихся вибрационных характеристик центробежного насоса проводится в результате расчетного исследования методами компьютерного моделирования.

Анализ влияния варианта проточной части на вибрационные характеристики насоса проводится по методике, прошедшей верификацию в АО «ОКБМ Африкантов» на насосе прототипе. Методика позволяет получать, с использованием метода конечного элемента, расчетные результаты, хорошо совпадающие с экспериментальными.

При расчетном исследовании рассматриваются варианты проточной части насоса с выбранными гидравлическими характеристиками. Для каждого варианта используются конечно-элементные модели корпуса насоса (рис. 1), по которым проводятся гидродинамические и вибрационные расчеты.

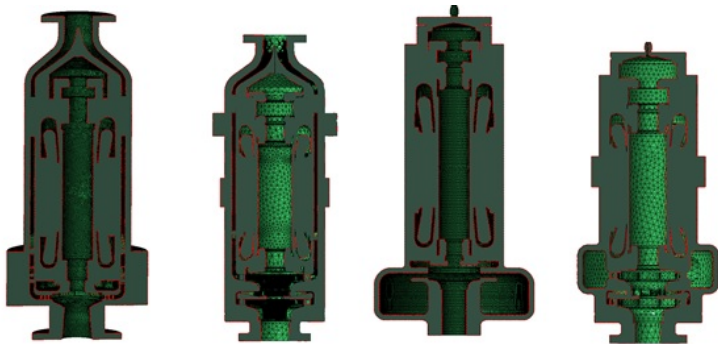


Рис. 1. Рассмотренные варианты конструкции насоса

По результатам расчетного исследования определено, что полнопро- точная одноступенчатая конструкция насоса обладает лучшими вибраци- онными характеристиками, чем прототип и может быть рекомендована для реакторной установки.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ОДНОРЕЖИМНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАСОСОВ ПЕРВОГО КОНТУРА В РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВКАХ ТИПА РИТМ

*Д. Е. Богомолов, М. В. Зотова, Д. Г. Кресов, А. В. Куликов*

АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

Для РУ нового поколения ключевой задачей является повышение технико-экономических показателей при одновременном снижении массогабаритных характеристик. Удовлетворить данные противоречивые требования становится возможным за счет изменения конструктивных особенностей основного оборудования. В представляемой работе рассматривается применение подобного подхода к АС ММ с РУ типа РИТМ.

В существующих РУ РИТМ применяются две частоты вращения ЦНПК – большая (БЧВ) и малая (МЧВ), реализованные применением частотных преобразователей (ЧП).

В докладе рассматривается принципиальная возможность отказа от МЧВ ЦНПК (исключение ЧП), что особенно актуально для наземных АС ММ, где отсутствует необходимость длительной работы на малом уровне мощности.

По результатам анализа динамики подобное техническое решение позволит:

- для режимов нормальной эксплуатации исключить необходимость предварительных снижений мощности при переключениях частоты вращения ЦНПК;

- для режимов с нарушениями нормальной эксплуатации и режимов со срабатыванием АЗ реактора обосновать использование естественной циркуляции (ЕЦ). При этом, вследствие отрицательного коэффициента реактивности по теплоносителю, снижение расхода будет эффективно снижать мощность реактора;

- обеспечить режимы разогрева/расхолаживания РУ как при принудительной циркуляции (БЧВ), так и при ЕЦ с последующим пуском ЦНПК.

По итогам анализа можно сделать вывод о возможности отказа в перспективных проектах от МЧВ при выполнении всех проектных критериев прохождения динамических режимов. Однако, это требует соответствующих изменений в номенклатуре режимов работы РУ, в алгоритмах работы СУЗ и КСУ ТС в целом, и подтверждения безопасности РУ на этапе разработки ООБ.

## **ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РУ РИТМ-200С ДЛЯ МПЭБ В АВАРИЯХ С ПОТЕРЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПЕРВОГО КОНТУРА**

*М. В. Воробьева, А. А. Факеев, А. Н. Лепехин*

АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

На базе опыта создания плавучего энергоблока «Академик Ломоносов» и нового универсального а/л «Арктика» разработаны ряд проектов ПЭБ нового поколения с реакторными установками типа РИТМ для различных площадок размещения. Одной из таких установок стала РУ РИТМ-200С, входящая в состав модернизированного плавучего энергоблока пр. 20871.

Энергоблок предназначен для работы в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока в качестве источника электроэнергии в составе инфраструктуры для размещения МПЭБ, включающей береговые гидротехнические и технологические сооружения и должен обеспечивать выдачу в береговые сети до 106 МВт электрической мощности.

РУ РИТМ-200С представляет собой легководный водо-водяной реактор интегрального типа с принудительной циркуляцией теплоносителя первого контура и вынесенной газовой системой компенсации давления. Основное оборудование РУ для МПЭБ максимально унифицировано с транспортной РУ РИТМ-200 для универсального атомного ледокола.

Данная работа посвящена расчетному анализу аварий и обоснованию безопасности реакторной установки, используемой в составе модернизированного плавучего энергоблока в авариях LOCA. Этот класс аварий характеризуется быстрым темпом потери теплоносителя из реактора и тяжелыми радиационными последствиями.

При проведении анализа учтены отличия РИТМ-200С от прототипной установки:

- повышение тепловой мощности реактора;
- использование активной зоны высотой 1650 мм;
- повышение автономности систем безопасности и технических средств управления запроектными авариями.

В рамках обоснования безопасности РУ в авариях с потерей теплоносителя рассмотрены все типы исходных событий, связанных с разгерметизацией первого контура (разрывы трубопроводов вспомогательных систем первого контура; малые течи трубопроводов первого контура; межконтурные течи; течь стоек крышки ядерного реактора и др).

При анализе аварий рассмотрены изменения параметров в первом контуре и параметров ПГС в помещениях ЗО, проанализированы радиационные последствия аварий.

Расчетное обоснование безопасности проводилось с использованием современных аттестованных Ростехнадзором РФ расчетных методик и программ, верифицированных и усовершенствованных по результатам многолетнего широкомасштабного комплекса НИР по безопасности транспортных АППУ.

В результате проведенного анализа подтвержден высокий уровень безопасности РУ, используемой в составе МПЭБ.

Результаты работы включены в материалы отчета по обоснованию безопасности РУ РИТМ-200С для МПЭБ в рамках техпроекта РУ.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА, ИЗГОТОВЛЕННОГО МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ**

*А. С. Смирнова, М. И. Галимов, Л. В. Свинцова, О. С. Юрченко,  
О. И. Горбоконина*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Разработке аддитивных технологий в настоящее время уделяется повышенное внимание, благодаря тому, что они представляют одно из перспективных направлений технологического развития промышленности.

Влияние ТО на литую и синтезированную структуру несколько отличаются друг от друга. Задача данной работы заключалась в исследовании влияния ТО на структуру и механические свойства жаропрочного сплава ХН58МБЮ, изготовленного методом 3D печати.

Во ФГУП ВИАМ разработаны и освоены в промышленном производстве новые жаропрочные свариваемые всеми видами сварки никелевые сплавы, существенно превосходящие по своим характеристикам серийные российские и зарубежные аналоги. Одним из таких сплавов является сплав ХН58МБЮ.

В работе проведены эксперименты по термической обработке сплава ХН58МБЮ с вариацией закалки, старения, выдержки; проведены металлографические исследования сплава и определены механические свойства сплава до и после термического воздействия.

Сплав ХН58МБЮ относится к жаропрочным слабостареющим сплавам, упрочнение в которых реализуется благодаря наличию от 10 до 12 %  $\gamma'$ -фазы, содержащей интерметаллиды и различные карбиды (типа  $MC$ ,  $M_{23}C_6$ ) на основе ниобия и хрома в сочетании с молибденом. Воздействие ТО приводит к дополнительному выделению частиц упрочняющей  $\gamma'$ -фазы, а также хромистых и молибденсодержащих фаз различной морфологии, приводящих к росту прочности материала при одновременном снижении пластических характеристик.

В работе варьировалась температура и выдержка при закалке, проведено сравнение влияния одинарного и двойного старения на структуру.



В результате работы установлено влияние термической обработки на структуру и свойства жаропрочного сплава ХН58МБЮ, изготовленного методом 3D печати, при комнатной температуре.

В процессе быстрой кристаллизации при печати происходит формирование столбчатых кристаллов (ячеек), представляющих собой дендриты.

В микроструктуре образцов после закалки (при всех рассмотренных температурах) наблюдается зеренная структура.

Увеличение времени выдержки при высокотемпературном нагреве от 1 до 3 ч приводит к выравниванию размеров зеренной структуры.

Интенсивность роста и дисперсность распределения фаз зависит от температуры и времени выдержки при закалке.

По результатам рентгенофазового анализа максимальное искажение решетки приходится на материал в исходном состоянии (напряженное состояние).

При увеличении времени выдержки искажение в кристаллической решетке сплава уменьшается, постепенно происходит распад твердого раствора CrNi.

В процессе работы:

- выполнен входной контроль всех образцов;
- проведены эксперименты по термической обработке сплава ХН58МБЮ с вариацией закалки и старения; проведены металлографические исследования сплава; выбран режим термической обработки, обеспечивающий выравнивание структуры сплава и высокие значения механических свойств;
- определены свойства сплава при 25 °С в исходном состоянии, после ТО;
- выполнен контроль геометрических параметров образцов до и после термического воздействия.

## **ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН В УПРУГИХ ПЛАСТИНАХ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОДНООСНОМУ МЕХАНИЧЕСКОМУ НАПРЯЖЕНИЮ**

*Ю. В. Гладышева, А. А. Узких, М. В. Малых, И. А. Белоброва,  
Р. Р. Исхужин, В. Н. Борисов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Разработка методических принципов неразрушающего контроля механических напряжений (напряженно-деформированного состояния) конструкционных материалов в составе ответственных узлов специзделий имеет огромную практическую значимость для ядерного оружейного комплекса и других отраслей промышленности. Напряженно-деформированное состояние материала может сопровождаться необратимыми изменениями его структуры и физико-механических характеристик под влиянием высоких температур, процессов пластического течения, релаксации и т. д. Такое состояние может привести к непредсказуемому поведению материала в составе изделий при эксплуатации.

Технологическое отделение РФЯЦ-ВНИИТФ обладает современным специализированным аппаратным и программным обеспечением, обширной методической базой в области традиционных ультразвуковых методов неразрушающего контроля качества, что способствовало направлению дальнейших исследований проблематики в область акустической тензометрии, в частности акустопругого эффекта. Ввиду специфики работ отделения особый интерес представляют исследования напряженно-деформированного состояния в тонкостенных материалах. Характер распространения упругих волн в ограниченных средах (толщины порядка длины волны) нетривиален, что значительно усложняет ход дальнейших исследований.

В данной работе приведены математическая модель и результат ее программной реализации, демонстрирующие изменения параметров ультразвуковых нормальных волн вертикальной и горизонтальной поляризации, распространяющихся в тонкостенных волноводах (пластинах), в зависимости от величины и направления приложенного одноосного напряжения. В перспективе данная модель позволит выявить оптимальные условия для диагностики напряженно-деформированного состояния тонкостенных материалов на различных этапах жизненного цикла изделий.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВЫХ СИСТЕМ**

*Л. Е. Гришина, А. К. Криницкий, А. Г. Черышев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В процессе разработки новых образцов техники разработчики сталкиваются с необходимостью принятия ряда решений (к примеру, разработка конструкции, отвечающей заданным требованиям, обеспечение стойкости конструкции к заданным воздействиям). При этом проведение натуральных экспериментов для поиска решений этих задач, как правило, является ресурсозатратным.

Одним из эффективных инструментов для решения вышеуказанных вопросов на всех этапах создания образцов техники является численное моделирование.

В данной работе на примере разработки воздуховода для подвода охлаждающего воздуха к приборам продемонстрирован принятый в КБ-12 процесс применения численного моделирования при решении вышеуказанных задач.

## О ЗАДАНИИ ИСТОЧНИКОВ ГАММА- И НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ОТ ОКСИДА ПЛУТОНИЯ-238 МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

*С. А. Демьянов, Е. И. Валекжанина, С. А. Картанов,  
С. А. Кораблев, К. Г. Плужян, М. В. Таценко*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В 1940 году Глен Сиборг открыл первый изотоп плутония- $^{238}\text{Pu}$ , который, благодаря своим свойствам (альфа-активный изотоп с периодом полураспада 87,7 лет), нашел широкое применение в атомной промышленности, в частности при создании радиоизотопных источников энергии. Например, космические аппараты Voyager и Cassini, марсоходы Curiosity и Perseverance используют радиоизотопные термоэлектрические генераторы на основе  $^{238}\text{Pu}$ .

В Российской Федерации производством  $^{238}\text{Pu}$  занимается ФГУП ПО «Маяк», в каталоге продукции которого представлен препарат  $^{238}\text{Pu}$  в форме оксида. Примечательно, что в том же каталоге в описании препарата указаны интенсивности гамма- и нейтронного излучений. Возникают вопросы о характеристиках этих излучений и необходимости защиты от них. В настоящее время для расчета мощности поглощенной дозы широко применяется моделирование методом Монте-Карло, при этом необходимо иметь информацию не только об интенсивности излучения, но и о его спектре.

В работе рассмотрены вопросы происхождения гамма- и нейтронного излучений в препарате оксида плутония-238, предложен способ задания их спектров для проведения расчета мощности поглощенной дозы методом Монте-Карло.

## **РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМОЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

*К. А. Есаулова, Е. В. Пешехонов, Д. А. Трегубенко*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Измерения вибрации является неотъемлемой и важной частью практически любых испытаний конструкций. Полученные результаты могут в полном объеме представить картину протекающих в них вибропроцессов, необходимых для определения и подтверждения прочностных характеристик конструкций заданным требованиям. Определение точности измерений вибрации является важной и неотъемлемой частью самих измерений. Определение точности виброизмерений необходимо для определения доверительных границ измеренной величины. Точность определения доверительных границ вибрационных измерений особенно остро стоит в сложных механических системах, неисправности которых могут приводить не только к сбоям в их работе, но и к катастрофам.

В данной работе представлены:

- методология вибрационных измерений;
- расчет точности вибрационных измерений в соответствии руководящим документом РД 95 3472-91 отраслевой системы обеспечения единства измерений.

## УСТРОЙСТВО И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВЗК МАНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*С. Н. Крючков, А. И. Тихонов, Ю. И. Жукаева, А. Е. Красин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В целях обеспечения требований экологической безопасности при проведении взрывных экспериментов в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» используются взрывозащитные камеры (ВЗК).

При изготовлении ВЗК проходят многоступенчатый контроль и испытания, обеспечивающие максимальное исключение выхода продуктов взрыва за пределы камеры. Завершающим испытанием является проверка камеры на прочность и герметичность. Аттестованные методики контроля герметичности не всегда обеспечивают необходимую точность для данного вида испытаний. Вследствие этого сохраняется актуальность разработки и совершенствование методик контроля герметичности ВЗК.

Чтобы обеспечить безопасность проведения взрывных экспериментов и экологическую защиту окружающей среды, потребовалась разработка и модернизация системы контроля герметичности (СКГ) ААРС2001, системы термостатирования ВЗК ААРС2002 и выпуск методики измерения СКГ манометрическим методом (ММ).

При разработке методики измерения СКГ ММ разработана рабочая конструкторская документация на измерительный стенд, обеспечивающий:

- уменьшение тепловой инерции эталонной камеры (ЭК);
- увеличение теплопередачи между воздухом ВЗК и ЭК;
- уменьшение теплопередачи между стендом измерительным СКГ и ЭК;
- повышение однородности теплового поля воздуха ВЗК.

Также с учетом имеющегося теоретического и экспериментального материала:

– получены и впервые применены аналитические выражения для автоматизированного расчета критерия герметичности с поправкой на неидеальность газа;

– проведена оценка показателей точности методики и погрешностей системы измерения;

– выполнен учет неоднородности температурного поля.

Методика измерения контролирует следующие физические параметры ВЗК: абсолютное и относительное давление, температуру газа, время проведения испытаний, натекание/утечку газа (расчетным способом).

По результатам проделанной работы была выпущена и аттестована методика СКГ ММ, а также получен патент на «устройство для контроля герметичности сосудов большого объема».

---

**РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛОГА МОДУЛЯ  
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ  
СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Л. С. Злыднева*

ФНПЦ «ПО «Старт» им. М. В. Проценко»,  
г. Заречный Пензенской обл.

В работе представлены результаты разработки модуля контроля и управления, а также его сравнение с аналогами. Рассмотрена структура и представлен внешний вид разработанного устройства.



## **ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ТЕРМОПАРАМИ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ДИАПАЗОНЕ ОТ – 40 °С ДО 300 °С**

*Е. В. Пешехонов, Е. В. Интяпин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Измерения температур является неотъемлемой и важной частью практически любых испытаний конструкций. Полученные результаты могут в полном объеме представить картину протекающих в них термопроцессов.

Достаточно часто реализация температурных измерений элементов конструкции происходит с использованием термопар и термометров сопротивления. Реализация измерения температур в диапазоне от – 40 °С до 300 °С с точки зрения точности измерений наиболее рациональна с использованием термометров сопротивления, но с точки зрения конструктивного исполнения температурные измерения во многих случаях реализуемы только с использованием термопар.

В данной работе рассмотрены:

- методология температурных измерений термопарами;
- способы повышения точности температурных измерений термопарами в диапазоне температур от – 40 °С до 300 °С.

## ПОЛУЧЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО БОРА ИЗ АМОРФНОГО БОРА

*Д. А. Карбушев, Г. Ю. Сморгков, С. С. Курганов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В докладе представлено описание технологии получения кристаллического бора из аморфного методом термической обработки в вакууме. Проведены исследования процесса перехода элементарного бора из аморфного состояния в кристаллическое под воздействием высокотемпературной термической обработки (отжига). Определены оптимальные технологические параметры процесса перевода аморфного бора в кристаллическое состояние:

- среда термической обработки – вакуум;
- температура 2060 °С;
- выдержка при этой температуре в течение 30 минут.

## **НОСИТЕЛЬ ИНФОРМАЦИИ С ЗАЩИТОЙ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА**

*В. А. Краев, А. В. Зарубин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время любые производственные процессы связаны с обработкой информации. Практически на каждом крупном предприятии информация имеет ограниченный доступ. Обработка данной информации осуществляется посредством объектов информатизации, образующих организационную разноуровневую систему взаимодействия закрытого типа. Количество уровней и принцип организации определяется характером обрабатываемой информации (служебная, коммерческая, государственная тайна и т. д.). С практической точки зрения, такие системы не могут являться полностью закрытыми, так как помимо обработки – являются объектами потребления и производства информации, обеспечивая коммуникативные процессы предприятия. Существенным недостатком данных систем является способ передачи информации между уровнями взаимодействия, осуществляемый через флеш-накопители.

В подобных системах взаимодействия закрытого типа чаще защите подлежит ЭВМ, а не носители информации, что увеличивает вероятность утечки от несанкционированного доступа.

Целью данной работы является разработка носителя информации с защитой от несанкционированного доступа.

## **РАЗРАБОТКА АНАЛОГА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЫНКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ**

*Е. А. Краев, А. А. Райченко, А. В. Зарубин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время в условиях сложившейся геополитической обстановки в России идет активное импортозамещение в сфере технического обеспечения. Отсутствие альтернативы данной аппаратуры и невозможность отечественного производства на выпуск необходимого количества электронной продукции мотивирует к разработке конкурентной замены. В работе обозначены основные проблемы российской микроэлектроники. Проведен анализ отечественного производства микроэлектроники в условиях внешней политики, оценка производственных мощностей предприятий-изготовителей. Рассмотрены действующие предприятия на возможность удовлетворения возросшего спроса на микроэлектронику. Определена необходимость разработки отечественных аналогов импортной продукции в условиях дефицита зарубежных поставок. Предъявлены требования для аналогов микроконтроллеров с сохранением их конкурентной способности, исследованы полученные варианты. Рассмотрено использование базового матричного кристалла как основы для разработки отечественного аналога импортной микроконтроллерной техники.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Л. Р. Кузнецова, Т. П. Любимова, Л. Н. Сучкова*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

В докладе рассмотрены технологические способы управления размерной стабильностью базовых материалов при изготовлении многослойных печатных плат:

- термостабилизация заготовок;
- поддержание стабильности климатических параметров;
- Copper Balance проводящего рисунка на наружных и внутренних слоях.

Приведены расчеты коэффициентов масштабирования размерных изменений слоев печатных плат по результатам рентгеновского анализа и результаты исследований влияния рисунка заполнения медью технологических полей на стабильность линейных размеров тонких слоев.

В целом, представлен комплексный подход обеспечения точности совмещения контактных площадок слоев с микропереходами и сквозными отверстиями в многослойных структурах печатных плат с помощью технологических усовершенствований и современного оборудования.

## **РАЗРАБОТКА ПРИБОРА АВТОМАТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБКО-ЖЕСТКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОВОДНОГО ЭЛЕКТРОМОНТАЖА**

*Н. В. Кутузов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При опытном и серийном изготовлении изделий одними из самых частых причин выявления брака в производстве являются дефекты, связанные с внутриблочным электромонтажом. Такие дефекты выражаются в:

- некачественной пайке проводов к контактным площадкам печатных плат и к контактам соединителей;
- повреждении изоляции проводов в процессе сборки и настройки;
- обрыве проводов в местах пайки в результате многократных деформаций при сборке или вибрационных нагрузок при испытаниях.

Целью работы является разработка прибора автоматики на гибко-жестких печатных платах (ГЖПП) без применения проводного электро-монтажа. Применение ГЖПП также позволяет ускорить и упростить процесс производства. Особенностью является изготовление ГЖПП с применением отечественных материалов, а также использование в приборе элементной базы отечественного производства.

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ НА ИЗОТОПНУЮ КИНЕТИКУ В РЕАКТОРАХ ВВЭР

*С. Л. Леванов, Л. В. Леванов*

АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

Спектральное регулирование осуществляется в процессе выгорания топлива при помощи изменения водо-уранового отношения в ТВС за счет использования вытеснителей воды. Диапазон изменения водо-уранового отношения в ТВС при опущенных и извлеченных вытеснителях приблизительно от 1,5 до 2,0. Уменьшение количества замедлителя приводит к смещению спектра нейтронов в активной зоне в более жесткую область, что приводит к снижению сечения деления нечетных делящихся изотопов ( $U-235$  и  $Pu-239$ ) и к увеличению сечения резонансного захвата на  $U-238$ . Понижение водо-уранового отношения в начале работы и его увеличение в процессе выгорания топлива позволяют увеличить количество  $Pu-239$ , задействованного в процессе деления и уменьшить расход естественного урана.

В докладе проанализировано влияние изменения спектра нейтронов на изотопную кинетику в реакторах ВВЭР при использовании спектрального регулирования. Расчеты выполнены по различным программам, использующим метод Монте-Карло, метод характеристик и вероятностей первых столкновений. В качестве расчетной модели была выбрана эффективная ячейка твэл, полностью передающая объемы всех используемых в ТВС материалов. Изменение водо-уранового отношения при погруженных и извлеченных вытеснителях моделировалось изменением толщины оболочки твэла. Данная модель была протестирована на расчетах полномасштабной ТВС с погруженными и извлеченными вытеснителями. Результаты расчетов представлены в виде зависимостей концентраций изотопов  $U$ ,  $Pu$ ,  $Am$  и  $Cm$  от времени для погруженных, извлеченных и перемещаемых в процессе работы вытеснителей. Показано, что увеличение водо-уранового отношения в процессе выгорания за счет извлечения вытеснителей позволяет увеличить количество  $Pu-239$ , задействованного в процессе деления.

## АТТЕСТАЦИЯ ВНЕОСЕВОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА ДИАМЕТРОМ 1100 ММ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

*Д. И. Лобачев, И. Н. Деркач, И. Е. Чернов, Д. С. Седов, В. Ю. Гладкий,  
Р. С. Енцов, Г. П. Санников, Р. В. Борисов, А. А. Паришин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Цель работы состояла в аттестации внеосевого параболического зеркала диаметром 1100 мм, входящего в состав стенда «Комплект технологического оборудования для аттестации телескопа ТК-СВ». Предложен способ определения формы параболического зеркала с использованием плоского зеркала диаметром 500 мм, с последующей шшивкой полученных результатов. Представлены результаты интерференционного контроля внеосевого параболического зеркала [1]. Приведены расчеты оптической схемы с внеосевым параболическим зеркалом с использованием специализированных программных комплексов. Получены результаты интерференционного контроля телескопа диаметром 1000 мм. Определены границы применения внеосевого параболического зеркала для аттестации крупногабаритных оптических элементов и оптических систем [2].

### Список литературы

1. Высоцкая В. В., Деркач И. Н., Чернов И. Е. и др. Фазовый интерференционный контроль оптических элементов лазерной установки нового поколения / 19-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2022. С. 272–279.
2. ГОСТ Р 8.745-2011/ISO/TR 14999-2:2005, Оптика и фотоника. Интерференционные измерения оптических элементов и систем. Измерения и методика оценки результатов. 2014. Ч. 2. С. 1–46.



## ПРОБОПОДГОТОВКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА БОРА В БОРНОЙ КИСЛОТЕ МЕТОДОМ ЛИМС

*Я. В. Логинова, И. В. Костылев, А. А. Костылева*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Любое практическое использование веществ и материалов, содержащих обогащенные изотопы бора, нуждается в аналитических методах определения концентрации изотопов бора. В настоящее время ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» осуществляет на постоянной основе контроль данного параметра. Контроль осуществляется при помощи масс-спектрометрического анализа, в котором лазерное излучение одновременно расплывает и ионизирует твердотельную пробу (метод ЛИМС).

Данный метод относится к методам неразрушающего контроля и пробоподготовка здесь не требуется, но невозможность получения аналитического сигнала вызвала необходимость дополнительной подготовки борной кислоты.

В данной работе представлены способы пробоподготовки борной кислоты и их оценка. Методом ЛИМС измерены значения изотопного отношения бора в борной кислоте у различных партий и определена концентрация изотопа  $^{10}\text{B}$ . Дополнительно для устранения эффектов от различных дискриминаций (при образовании ионов из твердого образца, при анализе по массам, регистрации ионов, обработке масс-спектра) для каждого образца был произведен расчет коэффициента относительной чувствительности (КОЧ). Измерения и расчеты были выполнены относительно стандартного образца изотопного состава бора.

Предложен оптимальный способ пробоподготовки для определения концентрации изотопов бора в борной кислоте и контроля технологического процесса их концентрирования.

**РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ  
КАССЕТ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ  
ИЗ БАССЕЙНА ВЫДЕРЖКИ БЕЛОЯРСКОЙ  
АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

*А. С. Блинов, В. В. Доценко, О. Ю. Жабунина, Ю. Ю. Лушина,  
М. В. Никульшин, В. В. Титов, Е. А. Товмасян*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

На БАЭС ОЯТ реакторов АМБ хранится в кассетах К-35, К-17н, К-17у в БВ-1 и БВ-2 первой очереди. В связи с запланированным ремонтом бассейнов выдержки возникла необходимость перемещения всех кассет сначала из БВ-2 в БВ-1, затем после завершения ремонта БВ-2 – всех кассет из БВ-1 в БВ-2 для последующего ремонта БВ-1. На первой очереди БАЭС имеется технологическая возможность перегрузки только кассет К-17н из БВ-1 в БВ-2 и обратно. Для выполнения поставленной задачи для кассет К-35 и К-17у потребовалось провести модернизацию существующего технологического оборудования 1958 года и разработать ряд новых конструктивных узлов. В данной работе представлены результаты расчетного обоснования прочности используемого для перемещения кассет технологического оборудования. Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием программного комплекса ЛОГОС.

В данной работе решены следующие задачи:

- обоснование прочности направляющей, предназначенной для позиционирования кассет при их установке на опорную поверхность транспортных тележек;
- определение напряженно-деформированного тележки с кассетой под действием собственного веса;
- исследование прочности опор и рельсовых путей, поврежденных коррозией;
- оценка прочности тележки и опор при сейсмическом воздействии 6 баллов по шкале MSK-64;

- определение состояния конструкций при аварийном падении кассеты К-35 на тележку;
- определение скорости кассеты при погружении на дно БВ;
- обоснование прочности двух вариантов демпфера, необходимых для снижения нагрузки в случае аварийного падения кассеты К-35 на дно бассейна выдержки.

По результатам выполненных расчетов получено, что все имеющееся и вновь разработанное технологическое оборудование сохраняет свою прочность в заданных условиях нагружения, что позволяет выполнить безопасное перемещение кассет К-35, К-17н, К-17у в бассейн выдержки.

## **РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ КАТАЛИЗАТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ РЕКОМБИНАЦИИ ВОДОРОДА ПЕРСПЕКТИВНОГО РАСТВОРНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

*П. А. Майоров, Н. А. Шлячков, В. Ю. Волгутов, О. А. Молькова,  
А. А. Пикулев, Д. А. Юнин, А. Р. Дягель*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ разрабатывается новый перспективный исследовательский растворный ядерный реактор (ИЯР), предназначенный для испытаний приборов и узлов конструкций, работающих под воздействием ионизирующего излучения. ИЯР предлагается оснастить системой каталитической рекомбинации (СКР) водорода, расширяющей его эксплуатационные характеристики при проведении облучательных экспериментов в статическом режиме работы за счет окисления радиолитического водорода в каталитическом блоке. Для этого предлагается использовать платина-палладиевый (Pt-Pd) катализатор, нанесенный на  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Поскольку катализатор с требуемыми характеристиками в промышленности не производится, была предложена реализация его изготовления на лабораторной базе РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Цель работы – разработка технологии изготовления Pt-Pd катализатора для СКР ИЯР и проведение его ресурсных испытаний.

Изготовление Pt-Pd катализатора проводили в несколько стадий, включающих: установление абсорбционно-структурных характеристик исходного субстрата ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), его пропитку Pt- и/или Pd-содержащими растворами и последующего высокотемпературного восстановления металлов в потоке водородсодержащей газовой смеси. Было изготовлено семь партий катализаторов с массовой долей Pt и/или Pd от 0,25 % до 1,0 %, массой по 25 г каждая.

На лабораторном стенде СКР при разных скоростях циркуляции водородсодержащей парогазовой смеси определены эксплуатационные характеристики всех партий Pt-Pd катализаторов. Установлено, что состав катализатора Pt 0,25 % и Pd 0,25 % наиболее перспективен для применения в каталитическом блоке СКР ИЯР, т. к. обладает высокой каталитической активностью, скоростью выхода на рабочий режим эксплуатации и относительно низкой стоимостью по сравнению с Pd-катализаторами.

В настоящей работе реализованы основные технические решения для лабораторного изготовления Pt-Pd катализатора для СКР ИЯР.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА УГЛЕПЛАСТИКЕ

*В. Н. Борисов, О. В. Лысенко, Ю. А. Мамаева,  
М. А. Миронова, Ю. Г. Смирнов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

Углепластики превосходят практически все наиболее широко используемые конструкционные полимерные и металлические материалы по удельным показателям прочности и жесткости, что определяет их преимущественное использование в оборонных отраслях промышленности. Условия эксплуатации изделий, изготовленных из углепластиков, могут быть очень разнообразны, поэтому системы лакокрасочных покрытий (ЛКП) должны обеспечивать стойкость и сохранность изделий к воздействию внешних факторов.

Целью работы являлся выбор и исследование систем ЛКП для нанесения на образцы из углепластика, обеспечивающих высокую стойкость к воздействию внешних факторов, высокую адгезию (0–2 балл по ГОСТ 31149-2014), значение параметра шероховатости поверхности с нанесенной системой ЛКП Ra не более 1 мкм.

В настоящей работе образцы из углепластика были изготовлены методом прямого прессования ткани Т1000/240 со связующим ЭПС-П-201. Для нанесения были выбраны и исследованы эпоксидные, акриловые, кремнийорганические, фторопластовые системы ЛКП:

- система № 1: грунтовка ЭП-0104 и эмаль ЭП-140,
- система № 2: грунтовка АК-070 и эмаль АС-1115,
- система № 3: грунтовка КО-0170 и эмаль КО-5189,
- система № 4: грунтовка ЭП-0104 и эмаль ФП-5190.

Измерены значения шероховатости поверхности образцов из углепластика до и после нанесения систем ЛКП, проведены ускоренные климатические испытания (УКИ) образцов с нанесенными системами ЛКП, определена прочность сцепления систем ЛКП с поверхностью образцов из углепластика до и после проведения УКИ.

Проведенные исследования показали, что системы ЛКП № 1, 3, 4 имеют наивысшую прочность сцепления с поверхностью образцов из уг-

лепластика (0 балл по ГОСТ 31149-2014), обладают высокой стойкостью и сохранностью к воздействию климатических и термических факторов. Значение шероховатости поверхности образцов из углепластика в исходном состоянии до нанесения ЛКП составило Ra 2,2 мкм, с нанесенными системами ЛКП для систем №№ 1, 2, 3 – в диапазоне от Ra 3,2 мкм до Ra 4,3 мкм.

Установлено, что система ЛКП № 4 (грунтовка ЭП-0104 и эмаль ФП-5190) на образцах из углепластика, изготовленных из ткани Т1000/240 со связующим ЭПС-П-201, показала наилучшие результаты по исследуемым параметрам: высокую стойкость к воздействию внешних факторов, 0 (наивысший) балл адгезии по ГОСТ 31149-2014, значение параметра шероховатости поверхности – Ra 0,9 мкм.

## ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

*А. С. Матвеева, В. Н. Халдеев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Сферические поверхности находят широкое применение в деталях промышленного применения и в изделиях, используемых при проведении экспериментов научного характера.

Рабочим инструментом при электроэрозионной обработке (ЭЭО) является электрическая искра, возникающая при импульсном электрическом разряде и представляющая собой низкотемпературную плазму (5–40 тыс. градусов).

Для обеспечения конструктивной прочности тонкостенные оболочки изготавливаются из металлов и сплавов, как правило, трудно поддающихся обработке резанием. Трудоемкость изготовления таких оболочек определяется их размерами, точностью формы, взаимным расположением и шероховатостью поверхностей, и физико-механическими свойствами материала. Основные требования к сферическим оболочкам – жесткие допуски на диаметральные размеры, малые отклонения от сферичности поверхностей и разнотолщинности стенки.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований было разработано новое направление в получении прецизионных полусферических оболочек. В докладе представлены следующие вопросы:

1. Метод электроэрозионного формообразования сферических поверхностей, основанный на самопрофилировании рабочей поверхности инструмента относительно обрабатываемой сферической поверхности.

2. Физическая модель электроэрозионного формообразования, в основу которой положено явление дискретного поступления энергии в виде электронного компонента.

Методика была реализована при изготовлении выпуклых и вогнутых поверхностей сферической формы из вольфрама и его труднообрабатываемых сплавов. Результаты теоретических исследований подтверждены комплексом специальных экспериментальных исследований.

## РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ФАКЕЛЬНЫХ ГАЗОВ

*Н. С. Митрофанов*

ИФХТМ НГТУ им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород

Работа посвящена улучшению экологической обстановки, как в регионе, так и в мире, поиску решения к снижению сжигания ценных газовых компонентов, сбрасываемых на факелы, увеличению глубины переработки и использования нефтегазового сырья предприятием. В настоящее время, в факельных газах содержатся весьма ценные компоненты, которые сжигаются на факельных стволах – водород, метан, этан, этилен, пропан, пропилен, бутан, изо-бутан, пентан и гексан.

На данный момент, в мире, нет технологической установки, которая бы полностью перерабатывала попутный нефтяной газ или факельные газы, а их полученные продукты вовлекала в дальнейшее производство.

Научная работа представляет собой, прежде всего, концептуальный и аналитический подход в решении экологической проблемы, а основная задача – это создание установки «EaR» с применением возобновляемых источников энергии.

Основные функции создаваемой установки – нивелировать сжигания углеводородов на факельных установках нефтегазоперерабатывающего предприятия, переработать вторичные и некондиционные факельные углеводороды с установок и направлять полученные углеводороды на установки предприятия в качестве сырья. Теоретически, в данную установку, закладывается возможность использования углеводородной некондиции с других предприятий.

Автором описана теоретическая часть работы установки, проведены расчеты газовых компонентов и средних показателей загрузки и выходов каждого компонента с установки, проведены экономические расчеты с учетом экологических квот, проведены экологические расчеты, показана нагрузка выбросов на атмосферу и дана теоретическая оценка экологической обстановки в г. Кстово.

Благодаря использованию установки, снижение выбросов предприятием предполагается таким же, как если сократить численность автомобилей в г. Кстово с 30 000 до 14 500 шт.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОРЦЕВЫХ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАТАХ

*Ю. С. Мяжкова*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

Технология изготовления многослойных керамических плат (МКП) методом низкотемпературного совместного обжига (Low Temperature Co fire Ceramic – LTCC) является в настоящее время одним из самых перспективных направлений в области создания СВЧ техники и используется в различных отраслях промышленности.

Одной из отличительных особенностей изделий, изготовленных по LTCC-технологии, является то, что МКП может быть одновременно платой и корпусом. Подавляющее большинство выпускаемых корпусов имеют торцевую металлизацию.

Проведенные ранее исследования по получению торцевой металлизации, путем заполнения отверстий проводниковой пастой в каждом керамическом слое с последующим ламинированием заготовки, не обеспечили получение отверстий необходимого качества из-за рассовмещения слоев.

В данной работе проведены исследования других способов формирования торцевой металлизации, а именно, получение торцевой металлизации в «сыром» керамическом пакете. Торцевая металлизация формируется методом сверления в ламинированной заготовке с последующим заполнением проводниковой пастой.

Исследования проводились на отверстиях следующих типо-размеров: диаметр 0,3 мм с шагом 0,7 мм; 0,5 мм с шагом 1,3 мм; 1 мм с шагом 2 мм.

Для заполнения отверстий применялась паста ПП-141 с вязкостью 17, 21, 28 мм, которая наносилась через трафарет.

В процессе проведения исследований разработана технология изготовления торцевых металлизированных отверстий, которая позволяет расширить функциональные возможности изделий на основе LTCC-плат и создавать миниатюрные модули и системы в корпусе.

## **АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ, КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*А. В. Наумов, В. А. Мещеряков, С. И. Буртасов, Е. А. Казаков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г.Саров Нижегородской обл.

Источник электропитания – важная и неотъемлемая составная часть любой электронной аппаратуры, и вопросы электропитания аппаратуры требуют тщательной проработки для обеспечения ее надежной работы.

Для нормального штатного функционирования приборов из состава образцов ВиВТ на всех этапах отработки необходимо устройство, которое совместно с внешней аккумуляторной батареей будет обеспечивать надежное, стабильное, качественное и непрерывное напряжение сети электропитания. Таким устройством может выступать исследуемый универсальный электронный модуль (УЭМ).

Данная работа посвящена исследованию, анализу схемотехнических и конструктивных решений универсального электронного модуля.

Актуальность исследования обусловлена отсутствием на российском рынке аналогичных современных устройств, применяемых в аппаратуре бесперебойного электропитания в образцах ВиВТ.

УЭМ предназначен для контроля напряжения на АБ, автоматического заряда аккумуляторных батарей (АБ), защиты АБ от перегрузки по току и короткого замыкания. При наличии питающего напряжения в допустимом диапазоне УЭМ заряжает АБ (поддерживает заряд АБ). При пропадании напряжения сети электропитания УЭМ прекращает заряд АБ с последующим переключением АБ к потребителю.

Работа содержит обоснование выбранных технических решений, анализ соответствия электро-радио изделий требованиям стойкости к внешним воздействующим факторам и соответствие требованиям надежности. Приведены пути миниатюризации конструкции и повышения показателей надежности.

В проекте представлена электронная трехмерная модель модуля с применением САПР Altium Designer, Компас-3D, проведена разработка и отладка программного кода микроконтроллера с применением программно-аппаратных средств производства АО «НИИЭТ» г. Воронеж.

## **РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЦЕЛЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И БОЕВОМ ПРИМЕНЕНИИ**

*А. С. Блинов, О. А. Бычков, В. В. Доценко, А. Н. Малоярославцев,  
А. В. Нигматуллина, М. В. Никульшин, М. Л. Соколов,  
В. В. Титов, С. Ю. Юдин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

В РФЯЦ-ВНИИТФ разработана целевая нагрузка (ЦН) для оснащения беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Конструкция целевой нагрузки состоит из осколочно-фугасного заряда с ударными ядрами и устройства взрывного разорыва РФЯЦ-ВНИИТФ.

В данной работе представлены результаты расчетного обоснования прочности ЦН на соответствие требованиям технического задания. Расчеты проведены методом конечных элементов.

В работе решены следующие задачи:

- оценка состояния ЦН при нормальных условиях транспортирования;
- определение напряженного состояния ЦН в составе БПЛА при эксплуатации и боевом применении;
- оценка состояния ЦН при контактном режиме срабатывания при встрече с преградой;
- анализ состояния ЦН при аварийном падении.

По результатам выполненных расчетов получено, что ЦН удовлетворяет требованиям технического задания.

## ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОДПОРА В МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ КОРПУС

*Н. А. Ордин, О. В. Лысенко, С. П. Дровосеков, А. С. Сериков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

В настоящее время во РФЯЦ-ВНИИТФ разрабатывается оптическое устройство, в состав которого входит линза, изготавливаемая из импортного материала. Специалистами РФЯЦ-ВНИИТФ было предложено использование лейкосапфира вместо импортного материала, который должен быть герметизирован в металлический корпус.

Для изготовления паяного соединения, обеспечивающего герметичность при воздействии избыточного давления и минимальное снижение оптического излучения, был выбран высокотемпературный припой на основе оксидных систем.

Был проведен термический анализ стеклоприпоя для определения температуры стеклования и температуры начала деформации.

Проведены исследования по растеканию стеклоприпоя по материалу корпуса.

На основании полученных результатов были предложены и опробованы различные режимы герметизации (в среде аргона и в вакууме).

Таким образом, в результате проведения комплекса экспериментов и испытаний был разработан режим герметизации, обеспечивающий сохранение работоспособности паяного соединения при избыточном давлении.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЕЦ И ВТУЛОК ИЗ СТЕКЛОПРИПОЯ СП-75

*Н. А. Ордин, М. В. Турушева, С. Ю. Аминов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Разработана технология изготовления колец и втулок из стеклоприпоя СП-75 в среде аргона и в вакууме для герметизации узлов, включающих оптические волокна (кварцевые и сапфировые). Определены температурные режимы и материалы для изготовления. Проведены исследования выплавленных колец и втулок на соответствие химическому анализу и температуры плавления.

Разработке оптоволоконных систем в настоящее время уделяется повышенное внимание, благодаря тому, что они представляют одно из перспективных направлений технологического развития в разных сферах промышленности.

В данной работе представлена разработка технологии изготовления трубок, втулок и колец стеклоприпоя СП-75, которые применимы в качестве герметизирующего элемента для пайки и герметизации узлов различного назначения, в частности, оптического волокна с корпусом в двух инертных средах – аргоне и вакууме.

Рассмотренный вариант закладки стеклоприпоя СП-75 в виде втулок и колец, в отличие от использования стеклоприпоя в виде крупки, позволяет обеспечить доступную, облегченную сборку технологических узлов без нарушения точности позиционирования, исключая возможность просыпания стеклоприпоя СП-75, что в свою очередь, существенно позволяет снизить количество брака.

Применение формованного стеклоприпоя позволяет исключить риск повреждения оптического волокна острыми гранями крупки стеклоприпоя, что оказывает значительное влияние на качество передаваемого сигнала, а также использовать количество стеклоприпоя, необходимое для герметичного соединения и минимального контакта с оптическим волокном.

## СТЕНД ГАЗОВЫЙ

*Д. В. Червяков, К. А. Плаксина, С. Ф. Долбищев, Е. В. Чесноков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В работе представлен стенд газовый, который относится к испытательной технике и может быть использован для проверки герметичности изделий с помощью вакуума или избыточного давления, заполнения изделий газом, контроля давления в системе и проверки системы на пропускную способность.

Стенд включает в себя следующие основные узлы:

- каркас;
- вакуумный насос;
- комплект вентиляей;
- систему трубопроводов;
- цифровые датчики давления и вакуума с отображающими устройствами;
- электромагнитный клапан, обеспечивающий отсечку потока газа через заданный промежуток времени;
- ложементы для установки баллонов.

Каркас стенда выполнен из профильной трубы и облицован листами.

В верхней части стенда расположена приборная панель, на которой установлены датчик давления и датчик вакуума с отображающими устройствами и электромагнитный клапан с таймером. Таймер позволяет проводить кратковременное открытие электромагнитного клапана и стравливание давления из изделия.

Рядом с приборной панелью располагается панель вентиляей, с помощью которой осуществляется управление стендом.

Внутри стенда располагается вакуумный насос с помощью которого осуществляется вакуумирование изделия и ложементы для установки баллонов с необходимыми газовыми смесями.

В функциональные возможности стенда газового входит:

- вакуумирование изделия до требуемой величины давления и проверка на герметичность вакуумом;

- 
- заполнение изделия газом и проверка на герметичность избыточным давлением газа;
  - стравливание избыточного давления газа из полостей изделия и газовых коммуникаций до требуемой величины;
  - проверка системы на пропускную способность;
  - смешивание нескольких газов в необходимой пропорции.

В настоящее время стенд газовый находится на стадии изготовления и в последующем будет применяться для проведения экспериментов.



## РАЗРАБОТКА АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ОТЛАДКИ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ CAN-ШИНЫ

*Д. И. Пучков, В. А. Краев<sup>1</sup>, А. В. Зарубин<sup>1</sup>*

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В современной технике и технологических процессах задействуют все большее число датчиков и приборов. Для отслеживания их параметров и работы создаются системы, позволяющие управлять большим числом устройств. Одной из распространенных систем является стандарт промышленной сети CAN.

В данном докладе представлена разработка аппаратного средства для отладки устройств CAN-шины. Аппаратное средство базируется на микроконтроллере LDM-K1986BE92QI, на основе процессора семейства Cortex-M3. Средство обеспечивает связь ЭВМ с подключенной CAN-шиной. Для реализации данного взаимодействия был вновь разработан протокол преобразования данных CAN-формата в пакеты данных стандарта UART. Так же реализовано обратное преобразование информации. Взаимодействие с ЭВМ осуществляется по COM-порту. Разработано программное обеспечение, позволяющее устройству считывать данные с CAN-шины и осуществлять их отправку на ЭВМ, а так же отправлять данные с ЭВМ на шину. При разработке была заложена возможность дальнейшей модернизации устройства.

**РАЗРАБОТКА БАЗОВОГО МАТРИЧНОГО КРИСТАЛЛА  
КАК ОСНОВА МИКРОСБОРКИ ДЛЯ ЗАМЕНЫ  
МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА  
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ  
ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*А. А. Райченко, Е. А. Краев, А. В. Зарубин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Позиции российской микроэлектроники на отечественном рынке в значительной мере оказались занятыми зарубежными производителями, предложив российскому рынку широкий спектр микроэлектроники. В сложившейся ситуации отечественные производители смогли предоставить необходимый объем электроники для российского потребителя, но в военной и промышленной сфере образовался дефицит. Разработка современных систем вооружений, средств спецсвязи, бортовой электроники требует применения более сложной ЭКБ отечественного производства с характеристиками, определяемыми разработчиками данных систем и удовлетворяющих потенциальных заказчиков.

Целью же данной научно-исследовательской работы является разработка БМК в качестве основы микросборки для замены микроконтроллеров в условиях дефицита ЭКБ.

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И АМПЛИТУДЫ РАЗВЕРТКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА НА СКЛОННОСТЬ СВАРНОГО ШВА К ВОЗНИКНОВЕНИЮ КОРНЕВЫХ ДЕФЕКТОВ**

*Н. И. Седакин, В. В. Соснин, А. В. Макаров, М. Е. Зотов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии. Она позволяет получать сварной шов с отношением глубины проплавления к ширине шва 20:1 и более, что может приводить к возникновению специфического дефекта – пористости в корневой зоне сварного шва. Связано это с гидродинамическими процессами, протекающими в парогазовом канале. Для возможного предотвращения корневых дефектов необходимо формировать парогазовый канал с достаточно широкой нижней частью и закругленным дном. Обеспечить это можно, применяя сварку с осциллирующей электронной пучка.

Как показал ряд экспериментов, геометрические характеристики, а также качество сварных соединений, выполняемых электронно-лучевой сваркой, достаточно сильно зависят от формы и амплитуды развертки электронного луча. Из рассмотренных форм развертки наилучшие показатели были получены при использовании треугольной развертки. Также, в ходе экспериментов было определено оптимальное значение амплитуды развертки. Как показали результаты экспериментов, проблема получения качественных сварных соединений, а именно – предотвращение образования пор в корневой зоне шва, может успешно решаться применением технологии сварки с колебаниями электронного луча по развертке треугольной формы и амплитудой  $X=Y=0,06$  мА.

## РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩЕГО УЗЛА МАКЕТА СИСТЕМЫ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ РЕКОМБИНАЦИИ ВОДОРОДА РАСТВОРНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

*И. А. Синицын, Д. А. Юнин, А. А. Кубасов, С. А. Кимяев,  
А. В. Демьянов, П. А. Майоров*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ эксплуатируется исследовательский ядерный реактор ВИР-2М [1]. Специфической особенностью реакторов серии ВИР является необходимость периодического сжигания гремучего газа (ГГ), образующегося при радиоллизе топливного раствора. В этом случае при воспламенении ГГ происходит резкое падение мощности реактора (после сгорания ГГ резко падает давление в корпусе, разогретый топливный раствор вскипает – реактор переходит в подкритическое состояние).

Перспективной альтернативой системе поджига является утилизация ГГ с помощью системы каталитической рекомбинации (СКР). Такая система позволит утилизировать образующийся ГГ в непрерывном режиме, без скачков давления и, в результате, без провалов мощности реактора.

На данный момент создан макет СКР, необходимый для подтверждения рабочих параметров.

Для макета СКР разработана система регистрации и управления: начиная от технических требований, подбора оборудования, коммутации, разработки программного обеспечения, отладки, оценки погрешности измерений, введения аварийных уставок до испытаний макета, с получением обширных экспериментальных данных.

Разработанная система регистрации и управления макета СКР позволяет:

1. Регулировать скорость поступления водорода и кислорода;
2. Регистрировать расход парогазовой смеси; изменение давления, температуру катализатора, модельного топливного раствора, контура нагревателя; концентрацию водорода;
3. Формировать аварийные и предупредительные сигналы при превышении уставок;
4. Управлять электромагнитными клапанами и регуляторами расхода газа.

**Список литературы**

1. Воинов А. М., Колесов В. Ф., Матвеев А. С. и др. Водный импульсный реактор ВИР-2М и его предшественники // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 1990. Вып. 3. С. 3–15.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ  
В 1,3,5-ТРИАМИНО-2,4,6-ТРИНИТРОБЕНЗОЛЕ,  
ПОЛУЧАЕМОМ ИЗ 2,4,6-ТРИХЛОРАНИЛИНА,  
НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЕГО ТЕРМОРАСПАДА**

*Ю. В. Спирина, С. Э. Гребенникова, Д. А. Кащеев, Т. Е. Курсанова,  
Н. А. Мирошниченко, Ю. В. Шейков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В промышленном масштабе реализованы способы получения ТАТБ аминированием 1,3,5-трихлор-2,4,6,-тринитробензола (ТХТНБ). Широкое распространение получил метод синтеза ТАТБ из 2,4,6-трихлоранилина (ТХА). Известно, что он содержит ряд примесей. Методами жидкостной хроматографии (ЖХ) и тонкослойной хроматографии (ТСХ) в качестве примесей в ТАТБ были идентифицированы порядка 11 веществ. В некоторых из них хлора вообще нет, а в других его содержание колеблется от 10 до 50 %.

По результатам исследования кинетики термического разложения взрывчатого вещества (ВВ) 1,3,5–триамино–2,4,6–тринитробензола (ТАТБ) методами дифференциально-термического и термогравиметрического анализа (ДТ-ТГ анализа) в условиях линейного нагрева и идентификации продуктов его разложения хромато-масс-спектрометрическим методом показано, что наличие технологических примесей ВВ ТАТБ в виде хлорорганических соединений может являться причиной некорректных расчетов кинетических параметров термического разложения ВВ ТАТБ при оценке его реакционной безопасности. Предложено для расчета кинетических параметров собственно ВВ ТАТБ рассматривать кинетику термораспада в температурной области свыше 225 °С.

Исследование кинетики разложения ТАТБ, синтезированного из ТХА, методами ДТ/ТГ анализа при скоростях нагрева от 1 до 10 °С/мин позволило сделать предположение о том, что на первой стадии при термическом воздействии на него до температуры 225 °С происходит разложение технологических примесей в ВВ.

Исследование продуктов разложения ВВ ТАТБ при 225 °С с применением хромато-масс-спектрометрического метода показало, что обнару-

женные продукты можно отнести к хлорорганическим примесям, оставшимся в ТАТБ при его синтезе.

По результатам расчета кинетических параметров, основанных на данных ТГ-анализа, установлено, что продукты разложения примесей не оказывают каталитического влияния на распад собственно ВВ и при оценке реакционной безопасности ТАТБ следует рассматривать температурную область свыше 225 °С.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ВЫСОКИМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

*А. А. Теменкова, А. А. Дорофеев, С. И. Калмыкова,  
А. А. Кудряшкина, Н. В. Половинкина*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Разработана технология получения полимерного композиционного материала, обладающего высокими диэлектрическими свойствами и высокой рабочей температурой.

Исследованы полимерные композиции на основе эпоксидно-кремнийорганической смолы в качестве связующего с одним из наполнителей: карбид бора, электрокорунд, двуокись титана, кварц, аэросил. Определены оптимальные соотношения «связующее – наполнитель».

Проведены испытания по определению электрических параметров материалов на основе полученных полимерных композиций. Установлено, что наиболее полно предъявляемым требованиям к разрабатываемому полимерному композиционному материалу, имеющему электрическую прочность не менее 14 кВ/мм и рабочую температуру до 300 °С, удовлетворяет композиция на основе эпоксидно-кремнийорганической смолы с электрокорундом в качестве наполнителя.



## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

*М. А. Тодоров, А. В. Мефодьев, В. В. Пятерикова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ведется разработка и внедрение технологии селективного лазерного плавления (СЛП). Использование технологии СЛП в производстве позволяет изготовить заготовки деталей сложной формы без оснастки и минимальной последующей механической обработки, что способствует значительному сокращению времени технологического цикла и стоимости готового изделия. В НИО-07 с 2021 года функционирует участок СЛП-печати с использованием отечественных программного обеспечения (ПО) и металлических порошковых композиций (МПК).

Целью работы являлось определение оптимальных параметров технологических режимов получения материалов с беспоровой структурой, механические свойства которых не уступают материалам, полученным традиционными методами (литье, ковка, прокат и др.). Объектами исследования в работе были образцы, изготовленные по технологии СЛП на отечественной установке MeltMaster<sup>3D</sup>-250HT (производства АО «НПО «ЦНИИТМАШ»), из нержавеющей стали, жаропрочного сплава на основе никеля, титанового сплава.

Определены режимы получения материала методом СЛП (удельная мощность, скорость сканирования, шаг сканирования), при которых плотность составляет более 99,97 %.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЮМИНИЗИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА ЛАЗЕРНОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

*Н. С. Толоконникова, С. М. Батьянов, О. Н. Калашиникова,  
О. М. Луковкин, Д. В. Мильченко, Ю. В. Шейков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Задача разработки светочувствительных ВС для систем безопасного лазерного инициирования зарядов требует адекватных представлений о механизме возбуждения взрывчатого превращения при поглощении импульса лазерного излучения частицами металла (в данном случае алюминия), входящими в ВС. Можно представить себе два различных механизма образования первичной волны сжатия – за счет испарения частиц Al и за счет выделения газов при быстрой реакции разогретых включений Al с ВВ и продуктами его разложения. Во втором случае, инициирование должно облегчаться при максимально плотном контакте частиц Al с кристаллами ВВ – в предельном случае, если наноразмерные частицы Al включены непосредственно в кристаллическую структуру ВВ.

Для верификации данных предположений, был разработан экспериментальный способ получения ВС на основе высокодисперсного гексогена с добавками нанодисперсного алюминия (50–100 нм), отличающихся характером распределения частиц Al: только на поверхности кристаллов ВВ (I), на поверхности и внутри кристаллов (II) и только внутри кристаллов (III). Далее для низкоплотных ( $\approx 1 \text{ г/см}^3$ ) образцов трех полученных ВС, была определена пороговая энергия возбуждения взрыва, переходящего затем в детонацию, при поглощении ЛИ с длиной волны 1,06 мкм и длительностью  $\approx 10 \text{ нс}$ .

Показано, что наибольшую чувствительность к импульсу ЛИ показали образцы ВС, содержащие только алюминий на поверхности частиц основного ВВ. Для образцов с тем же общим содержанием металла, но содержащих  $\approx 50 \%$  Al внутри кристаллов ВВ, порог инициирования вырос на  $\approx 60 \%$ . Образцы, содержавшие только внутрикристаллический Al, малочувствительны к ЛИ и их детонации в опытах добиться не удалось.

Полученные результаты показывают, что первоначальное возбуждение взрывчатого превращения в низкоплотном алюминизированном ВС при поглощении импульса не связано с химической реакцией и, по всей видимости, происходит за счет волны сжатия от испарившихся частиц Al в пространстве между кристаллами основного ВВ. Реакция Al с ВВ и продуктами его разложения если и имеет место, то на более поздней стадии, и влияния на процесс инициирования не оказывает.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИСТИННОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ НАКОПЛЕНИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

*Н. Н. Тулаева*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

Переход от оценок прочности конструкций к оценкам безопасности требует анализа сценариев развития возможных аварий. Описание деформирования материала при больших деформациях, в том числе – при потере устойчивости деформирования и разрушении, выполняется с помощью истинной диаграммы деформирования материала. К настоящему времени известен ряд способов восстановления такой диаграммы по данным испытаний, но большинство опираются на результаты стандартных испытаний при однократном нагружении.

Нагружение конструкции в ходе эксплуатации (циклическое) приводит к накоплению повреждений, проявляющемуся в падении механических характеристик материала. Существующие модели накопления повреждений описывают обычно снижение прочностных характеристик, что достаточно при расчетах на прочность по допускаемым напряжениям, но не достаточно для расчетов на безопасность.

Продолжением задач анализа поведения конструкций в аварийных ситуациях являются задачи синтеза конструкций, разрушающихся заданным образом, т. е. демонстрирующих требуемый механизм деформирования. При расчетном моделировании в этих задачах также следует учитывать, что деформированию подвергается материал, накопивший определенные повреждения, которые могли повлиять на вид его диаграммы деформирования.

Таким образом, в данной работе рассмотрены методы восстановления истинных диаграмм деформирования и учета накопления повреждений.

Проведен анализ результатов испытаний цилиндрических образцов из сплава ХН55МВЦ при однократных и ультрамалоцикловых испытаниях.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННОГО СПАЯ

*Н. Н. Тулаева, И. В. Минаев, В. В. Сергодеев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»,  
г. Снежинск Челябинской обл.

В настоящее время возрастает необходимость в применении разъемных, герметичных соединений оптических линий для передачи информации, работающих в условиях высокого давления. Принято обеспечивать герметизацию ферул в корпусе при помощи клея и резиновых уплотнений. Данное техническое решение ограничивает величину рабочего давления. Техническое решение соединения ферул с корпусом по технологии металлокерамических спаев является инновационным, ведет к значительному увеличению пределов эксплуатационных давлений и собственно надежности и сроков службы соединения. В связи с этим существует необходимость в исследовании прочности соединения ферулы с корпусом гермопроходника на основе стеклокерамического спаев.

В данной работе представлены результаты расчетного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов гермопроходника при изготовлении металлостеклянного спаев. Проведен анализ НДС конструкции при действии рабочего давления и получены коэффициенты запаса прочности элементов гермопроходника. Рассмотрено влияние изменения геометрических размеров стекла на напряженное состояние ферулы, стекла и корпуса. Проведена оценка значения предельного давления, соответствующего моменту смещения ферулы относительно стекла. Рассмотрено влияние высоты стекла на величину предельного давления.

## **ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН**

*Е. В. Тяпков, С. В. Вертей, М. И. Мигачев, Е. С. Сергеева*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Одной из важнейших задач современной антенной техники, является построение многофункциональных пассивных и активных антенных систем, обеспечивающих высокоэффективную работу различных радиотехнических комплексов, например, радионавигации, радиоразведки и радиопротиводействия, связи с подвижными объектами, радиоуправления. В качестве одного из основных узлов таких антенных систем используются фильтры СВЧ. Они используются для разделения или сложения сигналов разных частот в многоканальных системах связи или в узлах радиотехнических устройств. Также они используются для ограничения спектра электромагнитных колебаний мощных радиопередатчиков или для защиты приемников от помех, расположенных вне их рабочей полосы частот.

Цель, для которой разрабатывается данный полосно-пропускающий фильтр, состоит в ограничении рабочей полосы частот радиопередатчика и делении ее на несколько частотных поддиапазонов с возможностью переключения между ними.

В данной работе рассматривается перестраиваемый полосно-пропускающий фильтр, способный разделить рабочую полосу частот радиопередатчика на несколько поддиапазонов с возможностью переключения между ними для обеспечения передачи энергии широкополосного радиопередатчика в необходимых полосах частот.

Рассчитаны элементы конструкции и основные электродинамические характеристики перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра. Проведено моделирование данного перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра. Разработана система переключения между полосами частот, управляемая с помощью персонального компьютера удаленно.

## ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ВСЕНАПРАВЛЕННОГО УДАРНОГО ДАТЧИКА

*А. В. Ушков*

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва

В течение жизненного цикла приборы и оборудование могут подвергаться ударным воздействиям различной интенсивности, которые способны негативно отражаться на их работоспособности. В случае длительного хранения или автономной эксплуатации изделий, чувствительных к ударам, для регистрации ударных импульсов предпочтительно использовать датчики, не требующие для своей работы электрического питания, срабатывание которых происходит при определенной амплитуде ударного ускорения. При этом для минимизации количества таких датчиков, устанавливаемых на объекте, их проектируют всенаправленными, то есть способными регистрировать ударные импульсы, действующие в любом направлении. Один из способов практической реализации всенаправленности в пороговых датчиках удара (ДУ) состоит в использовании в качестве чувствительного элемента (ЧЭ) системы конус-шар-рычаг. В серийно выпускаемых ДУ диаграмма направленности отличается от круговой и имеет вид шестиугольника, в связи с чем их суммарная погрешность достигает  $\pm 20\%$  относительно номинального значения уставки. При этом существенный вклад в ее формирование ( $\approx 50\%$ ) вносит методическая составляющая систематической погрешности. С целью увеличения точности срабатывания была начата разработка новой конструкции ДУ. Для оценки точностных характеристик и оптимизации конфигурации ЧЭ были разработаны математические модели существующего и вновь разрабатываемого ДУ. С их помощью было установлено, что добиться снижения методической составляющей погрешности более чем в три раза – с  $\pm 10\%$  до  $\pm 3\%$ , и, тем самым, приблизить форму диаграммы направленности ДУ к круговой, можно за счет кратного увеличения числа шаров в ЧЭ. Достоверность полученных результатов подтверждена экспериментально в процессе проведения испытаний макетных образцов ДУ.

## **ВЫБОР ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ВИБРОИЗМЕРЕНИЯХ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВИБРАЦИИ**

*Е. В. Пешехонов, Е. В. Фигуров*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Измерения вибрации является неотъемлемой и важной частью практически любых испытаний конструкций. Полученные результаты могут в полном объеме представить картину протекающих в них вибропроцессов, необходимых для определения и подтверждения прочностных характеристик конструкций заданным требованиям.

Точность измерения мгновенных значений вибрации определяется точностью регистрирующей системы. Точность определения интегральных показателей широкополосной случайной вибрации (ШСВ) кроме точности измерения мгновенных значений вибрации зависит также от частоты дискретизации и интервала регистрации сигнала вибрации. В соответствии с теоремой В. А. Котельникова частота дискретизации выбирается равной или превышающей удвоенную верхнюю частоту фильтра согласующего устройства. На практике, как правило, частота дискретизации выбирается больше удвоенной верхней частоты фильтра согласующего устройства.

ШСВ представляет собой случайный стационарный процесс. Точность измерения мгновенных значений ШСВ, определяемая точностью регистрирующей системы, составляет порядка 10–20 %. Точность определения интегральных показателей ШСВ, кроме точности определения мгновенных значений ШСВ определяется частотой дискретизации и интервалом регистрации сигнала вибрации.

В данной работе приведен анализ влияния частоты дискретизации и интервала регистрации на точность определения интегральных показателей ШСВ.



## **ТРАВЛЕНИЕ ПРОВОДЯЩИХ РИСУНКОВ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ВЫСШИХ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ**

*А. В. Харитонычев, Т. П. Любимова, Л. И. Прокофьев*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

Основная тенденция развития цифровой и вычислительной техники состоит в повышении интеграции и миниатюризации электронных компонентов с увеличением плотности межсоединений. Формирование проводящих рисунков является одним из основных процессов в изготовлении печатных плат. Минимальная ширина проводников и зазоров рисунка в значительной мере определяет класс точности печатной платы, ее коммутационную способность и плотность межсоединений в устройстве. Операция травления меди является завершающей в цепи фотолитографического процесса формирования проводящего рисунка и одной из наиболее сложных технологически.

В докладе проанализированы современные способы получения проводящего рисунка в различных условиях травления, представлены результаты исследований получения проводящего рисунка внутренних и наружных слоев многослойных печатных плат с шириной проводников и зазоров 75 мкм с заданной точностью по металлорезисту и фоторезисту. Приведены статистические данные обработки и анализа полученных результатов, выданы рекомендации о способах и применении материалов для получения проводящего рисунка печатных плат высших классов точности.

## **МЕТОД ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ КАК СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАТ**

*И. П. Чиненкова, Ю. В. Усов, И. О. Усова*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

Метод электронной микроскопии является наиболее перспективным и имеет широкое применение в производстве изготовления радиоэлектронной техники. Данная технология позволяет изучать не только свойства поверхности, но и получать наглядную информацию о структурах.

В работе приводятся результаты исследований структуры многослойных керамических плат на электронном микроскопе. Описаны режимы сканирования образцов и влияние структуры покрытий на качество получаемых паяных соединений.

## РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ГАММА-4»

*Д. Ю. Шошин, К. С. Шилин, Р. А. Майоров, Д. А. Кульдюшов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Установка «Гамма-4» состоит из четырех однотипных ускорительных модулей, каждый из которых представляет собой импульсный сильноточный ускоритель электронов (2 МэВ, 750 кА, 65 нс). В качестве изолятора в 35 узлах установки используется деионизованная вода с удельным электрическим сопротивлением не ниже 10 МОм·см и общим объемом 85 м<sup>3</sup>. С целью заполнения данных узлов водой с необходимым электрическим сопротивлением разработана система водоподготовки (СВП). СВП расположена на трех этажах, общая протяженность магистралей ~1,5 км, количество управляемых элементов – около 200. Управление системой водоподготовки осуществляется с помощью автоматизированной системы управления.

В работе представлены технические и программные решения по разработке автоматизированных режимов работы СВП. Система управления построена по распределенной схеме, включающей в себя управляющую ЭВМ и программируемые логические контроллеры, расположенные в непосредственной близости от объектов управления. Контроллеры и управляющая ЭВМ объединены сетью *Ethernet* по волоконно-оптическим каналам связи. На контроллерах построена основная часть логики автоматизированных процессов, реализованной на языке *C++*.

С помощью управляющей ЭВМ реализовано взаимодействие автоматизированной системы управления СВП с оператором и согласование программ нижнего уровня. Программа на ЭВМ построена в *SCADA*-системе *MasterSCADA*.

Разработано семь автоматизированных режимов работы СВП. Разработанные режимы повышают точность соблюдения технологического процесса, упрощают работу оператора, сокращают время подготовки к работе установки «Гамма-4» и увеличивают количество рабочих включений установки в год.

# Секция 4

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

**ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
АППАРАТНЫХ РЕСУРСОВ GPU В ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИНАХ,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ  
ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА, В УСЛОВИЯХ  
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ (ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ОС, СРЕДСТВА  
ВИРТУАЛИЗАЦИИ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ)**

*Р. В. Булычев, Р. Ю. Дубровин, К. К. Рычагов, Д. Г. Аннин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Исходя из текущей ситуации в мире, вопросам защиты информации, а именно информации ограниченного доступа, уделяется как никогда особое внимание. Тому подтверждение Указы Президента РФ №166 и №250 от 2022 г. В свою очередь, проводимая «коллективным западом» санкционная политика значительно ограничила возможности по использованию зарубежного программного обеспечения, зарубежных ИТ-технологий.

Одними из наиболее развивающихся и перспективных ИТ-технологий в настоящее время являются технологии виртуализации, в частности виртуализация пользовательских рабочих мест (VDI). При подобной организации работы пользователей зачастую требуется использовать аппаратные ресурсы GPU в виртуальной машине (VM), например – для работы пользователей с 3D-графикой.

Существуют различные иностранные среды виртуализации, позволяющие использовать аппаратные ресурсы GPU в VM, такие как VMware vSphere и Hyper-V, однако, с учетом вышеизложенного, становится актуальной задача по использованию аппаратных ресурсов GPU в VM, предназначенных для обработки информации ограниченного доступа, в условиях импортозамещения (отечественные ОС, средства виртуализации и средства защиты информации).

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ТЕСТИРОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

*В. А. Васянина*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В данной работе проанализированы проблемы, с которыми наиболее часто сталкиваются специалисты при тестировании графических пользовательских интерфейсов (ГПИ) различных приложений. Описаны основные классификации, виды, этапы тестирования графических пользовательских интерфейсов, также проанализированы методы тестирования ГПИ. Перечислены актуальные проблемы тестирования ГПИ и варианты их решения.

## **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ И СЕРИЙНОГО ЗАПУСКА ЗАДАЧ ПРОТОННОЙ РАДИОГРАФИИ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

*В. В. Ивашкин, К. Л. Михайлюков, Н. В. Фролова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Программные средства разрабатываются в рамках методики моделирования протонных изображений [1–2]. Методика предназначена для численного моделирования прохождения высокоэнергетических пучков заряженных частиц через вещество с целью получения информации о распределении плотности веществ в оптически непрозрачных объектах в условиях быстропротекающих динамических процессов. Разработка обусловлена потребностями выполнения серийных запусков задач, интенсивность которых возрастает в периоды подготовки к ежегодным сериям экспериментов на ускорителе ПРГК-100 (г. Протвино).

Выполнение каждого расчета по численному моделированию протонных изображений требует создания конфигурационного файла, в котором содержатся уникальные параметры текущей задачи с описанием геометрии объекта и магнитной оптики, расположение файлов сеточной геометрии и материалов, описание алгоритма расчета, характеристик протонного пучка и параметров радиографирования. Выполнение этой работы вручную является трудоемким процессом, требует не только значительных временных затрат, но и не защищает от ошибок, которые, в свою очередь, приводят к аварийному или некорректному завершению расчета.

Представленные в докладе программные средства обеспечивают автоматизацию процесса конфигурирования параметров расчетов, формирование командных файлов запуска и постановку задач в очередь на исполнение на многопроцессорных вычислительных системах в режиме удаленного доступа, а также получение информации о ходе выполнения задач. Функционал реализован в графическом интерфейсе.

В докладе рассматриваются особенности программной реализации автоматизированных средств и функциональные возможности графического интерфейса пользователя для выполнения задач численного моделирования протонных изображений на многопроцессорных вычислительных системах. Отражены основные направления развития функционала.

**Список литературы**

1. Михайлюков К. Л., Храмов И. В., Фролова Н. В. и др. Методика ПИ моделирования протонных изображений // ВАНТ. Сер. «Математическое моделирование физических процессов». 2018. Вып. 3. С. 32–43.
2. Ивашкин В. В., Михайлюков К. Л., Фролова Н. В. Методика моделирования протонных изображений на многопроцессорных вычислительных комплексах / Супервычисления и математическое моделирование // Труды XVIII Международной конференции. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2022. С. 323–334.



## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КВАРЦЕВЫХ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАР**

*Д. М. Казимова, А. В. Грузинцев, А. В. Топоров*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При серийном производстве акселерометров на базе кварцевых пьезорезонансных датчиков необходимы многочисленные расчеты и поиск математических моделей частотных характеристик преобразования датчиков. В связи с этим, с целью сокращения трудовых затрат, уменьшения времени выполнения операций расчета различных характеристик датчиков, исключения ошибок оператора связанных с человеческим фактором, разрабатываются автоматизированные системы, позволяющие ускорить и удешевить процесс производства линейных акселерометров.

Объектом автоматизации является рабочее место оператора, в обязанности которого входит формирование дифференциальных пар датчиков по частотным характеристикам и электрическим параметрам пьезорезонансных датчиков ускорения.

В данной работе представлена автоматизированная система, выполняющая расчеты и поиск математических моделей характеристик преобразования датчиков ускорения, необходимых для формирования дифференциальных пар, используемых в производстве линейных акселерометров. Разработанная система позволяет на раннем этапе выявить бракованные датчики, а так же сформировать пары датчиков с наилучшими характеристиками из возможных вариантов пар имеющихся датчиков. Оцениваются электрические параметры датчиков, изменение частотной характеристики при подаче напряжения без воздействия ускорения, изменение частотной характеристики при воздействии различных ускорений, а также частотные характеристики возможных пар датчиков, полученные с помощью найденных математических моделей.

## **ПОДСИСТЕМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

*Л. А. Клепцова, В. Н. Дюпин*

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

Системы искусственного интеллекта позволяют найти творческое решение в широком спектре инженерных задач. Примером такой задачи является обработка визуальных данных. Обработка визуальных данных сводится к задаче выделения характерных черт наблюдаемых объектов и классификация этих объектов. Система искусственного интеллекта может являться составной частью крупной системы, выступая в роли встраиваемой подсистемы [1].

Математической моделью подсистемы искусственного интеллекта является искусственная нейронная сеть. Искусственная нейронная сеть представлена серией перцептронов – элементов накапливающих входное воздействие и передающих это воздействие соседним нейронам в соответствии с передаточной функцией нейрона. Для обучения нейронной сети используют обучающие выборки, которые содержат шаблоны входных воздействий на сеть и значения эталонных результатов. Обучение искусственной нейронной сети сводится к итерационному процессу выравнивания весов сети для достижения требуемого значения на выходе нейронной сети.

Подсистема искусственного интеллекта выделения топографических элементов позволяет оптимизировать процесс построения геоинформационных систем, а также реализовать системы искусственного ассистента, позволяющие выявлять новые объекты на картах в режиме реального времени.

### **Список литературы**

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2018.

## РЕАЛИЗАЦИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО СЕРВИСА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

*А. Э. Копейкин, В. Н. Дюпин, К. Н. Савина*

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время доминирующей задачей подавляющего большинства бизнес проектов является задача логистики. Задачи логистики сводятся к поиску оптимальных маршрутов для транспортировки товаров и персонала. При решении задачи логистики используются геоинформационные системы, которые оперируют географическими данными (осуществляет сбор, хранение и обработку графической визуализации пространственных географических данных) [1]. Ядром геоинформационной системы является база данных географических данных, которая наполняется из широкого круга внешних информационных систем.

Картографический сервис геоинформационной системы позволяет вести администрирование базы географических данных. Реализация отечественного картографического сервиса позволит защитить отечественные информационные системы от угроз санкций недружественных стран. Наиболее простым методом наполнения базы данных является импорт географических данных из сторонних открытых геоинформационных систем. Наиболее точным методом пополнения базы географических данных является метод аэрофотосъемки, который позволяет осуществлять фотографирование поверхности определенной территории с привязкой периметра территории к географическим данным. При распознавании и поиске объектов картографических данных используются системы искусственного интеллекта.

В докладе работы представлено описание геоинформационной системы и картографического сервиса для редактирования базы данных информационной системы. Приведен демонстрационный пример наполнения и администрирования базы географических данных.

### Список литературы

1. Чабан Л. Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации для картографирования геопространственных данных. М.: МИИГАиК, 2013. С. 96.

## СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ЗАЩИЩЕННОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «АРАМИД»

*Д. А. Красноярова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В докладе рассмотрены средства автоматизации функционального тестирования, применяемые в процессе тестирования дистрибутива защищенной операционной системы «Арамид» для супер-ЭВМ [1] (ЗОС «Арамид»).

Доклад содержит описание решаемых задач, функциональных тестов ЗОС «Арамид», преимуществ автоматизации процессов тестирования, программного продукта Robot Framework [2], разработанных средств автоматизации функционального тестирования и их практического применения, а также результаты проделанной работы.

ЗОС «Арамид» – это дистрибутив Linux, созданный с использованием программных продуктов с открытым кодом и программных продуктов разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

ЗОС «Арамид» предназначена для выполнения параллельных высокопроизводительных вычислений и для обработки информации ограниченного распространения, в том числе содержащей сведения, составляющие государственную тайну со степенью секретности до «совершенно секретно» включительно.

Разработанные средства автоматизации предназначены для решения двух задач: предоставлять возможности для функционального тестирования ЗОС «Арамид» и быть применимыми для соответствия требованиям безопасности информации ФСТЭК России к операционным системам.

Функциональные тесты ЗОС «Арамид» включают 2 пакета тестов: тесты функций безопасности и тесты проверки среды параллельных высокопроизводительных вычислений. Оба пакета тестов содержат разнообразные тесты, многие из которых требуют дополнительной настройки операционной системы перед исполнением.

Описание Robot Framework содержит краткий список возможностей, краткий обзор механизмов его использования и применение библиотек

Robot Framework для построения средств автоматизации функционального тестирования ЗОС «Арамид». Доклад содержит описание разработанной архитектуры, процесса запуска тестирования и получаемых практических результатов.

В заключении доклада показано, что применение разработанных средств автоматизации позволило решить поставленные задачи, а также снизить временные затраты на функциональное тестирование дистрибутива ЗОС «Арамид» и получить расширяемую базу тестов.

### Список литературы

1. Баканов Е. К., Алешкин В. А., Красноярова Д. А. и др. Защищенная операционная система «Арамид» для супер-ЭВМ / Суперкомпьютерное моделирование и искусственный интеллект. Международная конференция «XXII Харитоновские тематические научные чтения, 24–27 мая 2021 года». // Сборник научных трудов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2022. С. 45–47.

2. Robot Framework [Электронный ресурс]: [веб-сайт]. – Электрон.дан. – 2023 – . –URL: <http://robotframework.org> (дата обращения: 20.05.2023).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МНОГОКАНАЛЬНОГО АЦП В СОСТАВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА 1874ВЕ7Т**

*А. П. Лискович*

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

Цель работы состоит в нахождении способов увеличения точности измерения напряжения с помощью многоканального АЦП, интегрированного в состав микроконтроллера 1874ВЕ7Т.

В работе представлены анализ функциональных возможностей АЦП, моделирование его характеристик в среде MATLAB, а также результаты экспериментов по повышению точности измерения АЦП. В качестве основных вариантов были рассмотрены три пути исследования: схемотехнический, программный и смешанный. Схемотехнический вариант включает в себя реализацию различных схем формирования опорных напряжений АЦП. Программный вариант заключается в исследовании и оптимизации алгоритма преобразования АЦП. Смешанный вариант представляет собой такое сочетание схемотехнической конфигурации и программного обеспечения, при котором достигаются преимущества сразу двух подходов.

В качестве результатов работы приводится способ, обеспечивающий наилучшую точность измерения АЦП, а также приведена таблица, в которой сопоставлены все рассмотренные варианты и полученные при этом характеристики.

Также в работе приводится описание микроконтроллера 1874ВЕ7Т и его модулей, использованных во время экспериментов.

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМЫ ПАМЯТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Т. Ф. Лошманова, А. Д. Рудаков, Б. А. Федоров, Н. О. Червяков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Обеспечение радиационной стойкости электронной аппаратуры – чрезвычайно важная задача для ряда областей ее применения. Поэтому становится актуальным проведение испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) на стойкость к воздействию ионизирующего излучения.

Во время проведения радиационных исследований микросхем наиболее важным аспектом является осуществление автоматизированного контроля параметров испытываемых объектов для оптимизации измерительного цикла: сокращения времени процесса записи измеряемых значений, анализа сигналов с использованием встроенных математических функций и функций для обработки сигналов.

Развитие информационно-измерительных систем позволяет оперативно обрабатывать большие массивы информации без вмешательства оператора, т. е. практически исключается субъективный фактор, обеспечивая необходимую точность измерений, надежность работы измерительных приборов и быстроедействие. Использование платформы NI при разработке аппаратно-программных средств предоставляет возможность проведения многофункционального тестирования современной электроники с учетом вышеперечисленных требований, в том числе тестирования микросхем при воздействии ионизирующего излучения.

Целью работы является разработка аппаратно-программных средств для проведения измерений электрических параметров микросхемы памяти «Статическое оперативное запоминающее устройство» (СОЗУ) при воздействии ионизирующего излучения.

В ходе выполнения данной работы были разработаны аппаратно-программные средства для автоматизации измерения электрических параметров микросхемы памяти СОЗУ. Данные аппаратно-программные

---

средства позволяют обеспечивать запись/чтение произвольной последовательности бит в ручном и автоматическом режимах, сохранять значения напряжения питания, тока потребления, считанных данных и результатов проверки в файл. Также предоставляют возможность выведения на экран графиков зависимостей напряжения и тока от времени воздействия ионизирующего излучения и графика зависимости ошибок чтения от количества измерений.



## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРМИНАЛОВ В РАМКАХ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗБУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*М. А. Мазенков, Е. А. Звягин*

АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

В докладе представлен опыт внедрения производственных терминалов на производственных площадках АО «ОКБМ Африкантов». Описан принцип работы с производственными терминалами. Обозначены возможности производственных терминалов и преимущества их использования перед стандартными способами работы с бумажной документацией. Выделены качественные и количественные показатели эффективности внедрения производственных терминалов в цехах. Представлен дальнейший план развития системы производственных терминалов на производственных площадках АО «ОКБМ Африкантов».

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ РАСЧЕТОВ С ЦЕЛЬЮ ОБОСНОВАНИЯ НОВЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*И. А. Макаров, М. В. Зотова, И. С. Зотов, Р. В. Козлов, А. Г. Эзекв,  
А. В. Давыдов, А. Н. Цыгвинцев*

АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

Импортозамещение программного обеспечения (ПО) – это процесс замены иностранных программных продуктов на отечественные, с целью ограничения импорта и повышения уровня самодостаточности страны в этой области. На основе указа президента Российской Федерации утвержден план перехода на преимущественное использование отечественного ПО машиностроительным дивизионом Госкорпорации (ГК) «Росатом».

С целью выполнения приказа ГК Росатом АО «ОКБМ Африкантов» проводит работы по модернизации и адаптации собственных расчетных кодов (РК), применяемых для создания математических моделей различных систем и установок для использования их на операционной системе (ОС) Linux.

В АО «ОКБМ Африкантов» разработан программный комплекс (ПК) «БОРТ-Т», предназначенный для обеспечения расчета динамических режимов в ядерных энергетических установках (ЯЭУ). Данный ПК позволяет производить распараллеленные высокопроизводительные вычисления на удаленных серверах, решать связанные задачи в трехмерной, совместно с расчетно-математическим комплексом ЛОГОС Аэро-Гидро, и одномерной постановках с моделированием системы управления в системе автоматизированного проектирования (САПР) SimInTech под управлением ОС Linux.

Интеграция РК в единую платформу суперкомпьютерного моделирования позволяет проводить мультифизические расчеты режимов работы ЯЭУ, включая режимы с изменением пространственной ориентации объекта.

Для демонстрации связанного расчета приведена 1D-3D задача в режиме качки. В процессе проведения совместного расчета имеется воз-

возможность управления расчетом из САПР SimInTech. Так, поместив модель клапана на гидравлическую связь расчетной модели, можно управлять изменением расхода теплоносителя в модели.

Таким образом, в АО «ОКБМ Африкантов» разработана связка на базе интеграции отечественных кодов, реализующая учет основных эффектов, влияющих на контроль состояния изделия для обеспечения повышенной точности расчетов режимов ЯЭУ.

## ОПТИМАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ НА ГРАФАХ В ФИЛЬТРАХ НА ФОНЕ КОРРЕЛИРОВАННОГО ШУМА

*И. К. Малышевский*<sup>1,2</sup>, *Е. А. Маврычев*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
Нижний Новгород

<sup>2</sup> НГТУ им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород

Обработка сигналов на графах является современным направлением в теории сигналов, представляющим обобщение классической цифровой обработки сигналов. В классической цифровой обработке рассматриваются дискретные временные последовательности, которые можно характеризовать регулярным переходом от одного момента времени к другому, что описывается регулярным смещением всех отсчетов по временной оси. Основным отличием сигналов на графах является нерегулярный переход от одного состояния к другому, который описывается графом с произвольной топологией [1].

В данной работе рассматривается оптимальная фильтрация детерминированного сигнала на графе в присутствии коррелированных помех с известной корреляционной матрицей. Выполнен синтез оптимального винеровского фильтра на основе минимизации среднеквадратической ошибки. Синтез оптимального фильтра, выполненный в данной работе, предполагает модель фильтра на графе с переменными коэффициентами [2]. Представляются результаты математического моделирования, показывающие характеристики, достигаемые при оптимальной фильтрации. В каждом статистическом эксперименте были сгенерированы случайные реализации информационного символа, канальных коэффициентов и собственных шумов.

В результате исследования получились следующие результаты. На рис. 1, а проиллюстрирована зависимость ошибки СКО от отношения сигнал-шум для фильтров разного порядка в случае воздействия некоррелированного (собственного) шума на узлы графа. Как видно из графика, собственный шум подавляется слабо, что свойственно для данного типа фильтров в целом. На рис. 1, б показана такая же зависимость только для коррелируемого шума. Как видно, фильтр на графе успешно режектирует

разные типы шума, с наибольшей эффективностью в случае с коррелируемым шумом. Таким образом, оптимальный фильтр, реализованный на графе показал свою эффективность.

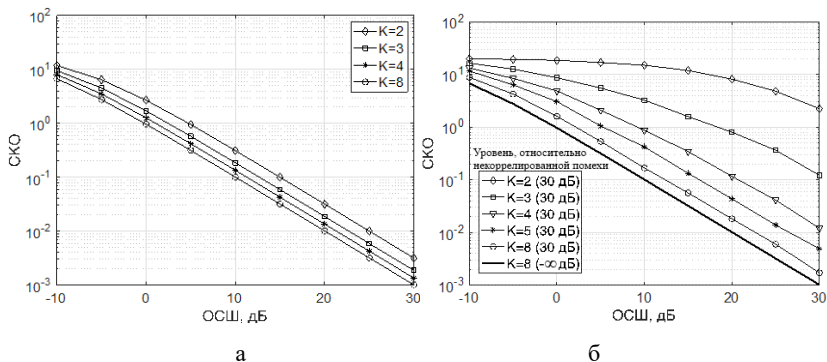


Рис. 1. Зависимость ошибки СКО от отношения сигнал-шум:  
а – некоррелируемый шум, б – коррелируемый шум

### Список литературы

1. Sandryhaila and J. M. Moura. Discrete signal processing on graphs // IEEE Trans. Signal Process. 2013. Vol. 61, N 7. P. 1644–1656.
2. M. Coutino, E. Isufi, and G. Leus Advances in distributed graph filtering // IEEE Trans. Signal Processing. 2019. Vol. 67, N 9. P. 2320–2333.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕКОГЕРЕНЦИИ В МНОГОЧАСТИЧНЫХ КВАНТОВЫХ СИСТЕМАХ

А. С. Мاستюкова<sup>1,2,3</sup>, М. А. Гавреев<sup>1,2,3</sup>, Е. О. Киктенко<sup>1,3</sup>,  
А. К. Федоров<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Российский квантовый центр, Сколково, Москва

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (национальный  
исследовательский университет), Москва

<sup>3</sup> Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСИС», Москва

Декогеренция является фундаментальным препятствием, ограничивающим производительность устройств квантовой обработки информации. Важность этой проблемы, особенно в случае известных квантовых состояний, лежит в области фундаментальной квантовой информатики.

В настоящей работе, следуя недавнему теоретическому предложению, мы изучаем применение зависящих от квантового состояния унитарных операций предварительной и пост-обработки для защиты заданного (многокубитного) квантового состояния от эффекта декогеренции, действующего на все кубиты. Мы наблюдаем увеличение точности воспроизведения выходного квантового состояния как в эксперименте с использованием квантового симулятора, где все унитарные операторы идеальны, так и в реальном эксперименте с помощью облачного доступа к квантовому процессору, где шум уже влияет и на сами защитные унитарные операторы.

Общая идея такой схемы подавления эффекта декогеренции состоит в том, чтобы окружить канал декогеренции двумя унитарными операторами, которые мы называем операторами пред- и пост-обработки соответственно, точная форма которых определяется как самим каналом декогеренции, так и квантовым состоянием, которое мы защищаем от декогеренции.

В работе была также рассмотрена практическая задача распределения двухкубитного состояния по удаленным физическим кубитам квантового процессора. В частности, было проанализировано распределение запу-

танного квантового состояния в 7-кубитном квантовом процессоре IBM. Это можно рассматривать как прототип эксперимента по реализации передачи квантового состояния между отдельными устройствами обработки квантовой информации, подключенными через квантовый интерфейс.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-71-10091, Дорожной карты по развитию квантовых вычислений и программы «Приоритет 2030» НИТУ «МИСИС» по проекту К1-2022-027. Работа А. С. Мاستюковой также поддерживается Стипендией Президента РФ (№ СП-1351.2022.5).

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ЗОС «АРАМИД» В ВЕБ-СЕРВЕРЕ NGINX

*В. В. Новиков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В ИТМФ в настоящее время ведется работа по созданию дистрибутива защищенной операционной системы (ЗОС) «Арамид» [1] для организации распределенных высокопроизводительных вычислений в рамках автоматизированных систем в защищенном исполнении, в которых допускается обработка информации ограниченного распространения, в том числе содержащая сведения, составляющие государственную тайну со степенью секретности до «совершенно секретно» включительно [2].

Одним из ключевых компонентов общесистемного программного обеспечения данной ОС является веб-сервер, который необходим, для организации программной инфраструктуры функционирования веб-сервисов. При этом согласно нормативным документам, государственный регулятор ФСТЭК России предъявляет требования чтобы процессы, запускаемые от имени пользователей ОС, были ассоциированы с атрибутами безопасности пользователя, которые в свою очередь тесно связаны с системой дискреционного, ролевого и мандатного разграничения доступа. Таким образом, в рамках работ по созданию ЗОС «Арамид», реализация поддержки средств защиты информации данной ОС в веб-сервере, является стратегической задачей. Для решения поставленной задачи, необходимо интегрировать веб-сервер Nginx учитывая особенности комплекса средств защиты информации ЗОС «Арамид».

Nginx – это веб-сервер работающий на Unix-подобных операционных системах. Основными целями использования данного веб-сервера является отдача статических файлов, а также в качестве обратного прокси-сервера [3].

Реализация поддержки средств защиты информации ЗОС «Арамид» в веб-сервере Nginx позволяет организовать программную инфраструктуру высоконагруженного веб-сервиса.

В докладе будут представлены общие сведения о дистрибутиве ЗОС «Арамид» и роли веб-сервера Nginx в процессе функционирования веб-



сервисов. Дан обзор штатных средств веб-сервера Nginx для разграничения прав доступа к информации. Описаны разработанные механизмы идентификации, аутентификации, авторизации, а также реализация данных механизмов для веб-сервера Nginx, учитывая особенности комплекса средств защиты информации защищенной операционной системы «Арамид».

### Список литературы

1. Защищенная операционная система «Арамид» [Электронный ресурс]: [веб-сайт]. – Электрон.дан. – 2023 – . –URL: <https://vniief.ru/researchdirections/civildevelopment/Aramid/> (дата обращения: 20.05.2023).
2. Баканов Е. К., Алешкин В. А., Красноярова Д. А. и др. Защищенная операционная система «Арамид» для супер-ЭВМ / Суперкомпьютерное моделирование и искусственный интеллект. Международная конференция «XXII Харитоновские тематические научные чтения, 24-27 мая 2021 года» // Сборник научных трудов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2022. С. 45–47.
3. Веб-сервер Nginx [Электронный ресурс]: [веб-сайт]. – Электрон.дан. – 2023 – . – URL: <https://nginx.com> (дата обращения: 20.05.2023).

## **ФОРМИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО РАБОЧЕГО МЕСТА АДМИНИСТРАТОРА АСЗИ**

*М. В. Плотников, О. В. Гунаев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Для обработки информации, необходимость защиты которой определяется законодательством Российской Федерации или решением ее обладателя, должны создаваться автоматизированные системы в защищенном исполнении (АСЗИ), в которых реализованы в соответствии с действующими нормативными правовыми актами требования о защите информации. В РФЯЦ-ВНИИЭФ создано и эксплуатируется значительное количество АСЗИ на базе локальных компьютерных сетей. Одной из важных подсистем таких АСЗИ является транспортная подсистема (ТПс), которая обеспечивает связь рабочих мест и серверного оборудования.

Функционирование и сопровождение ТПс АСЗИ обеспечивают администраторы. Администратор ТПс должен выполнять установку, настройку и обслуживание компонентов ТПс, а также оперативно находить решения в ситуациях, связанных с нарушением работы ТПс. Для этого необходимо наличие возможности локального подключения к телекоммуникационному оборудованию АСЗИ. Для выполнения этой задачи разрабатывается мобильное рабочее место (МРМ) администратора ТПс.

МРМ представляет собой ноутбук, в состав которого входит консольный кабель для подключения ноутбука к оборудованию АСЗИ. МРМ предназначено для применения в АСЗИ обрабатывающих информацию, содержащую сведения ограниченного доступа. МРМ предназначено для обеспечения локального доступа к оборудованию АСЗИ с целью проведения пуско-наладочных работ или при отсутствии возможности удаленного доступа к оборудованию по техническим причинам.

Одно и то же МРМ может быть использовано для нескольких АСЗИ, при этом оно учитывается в составе ОТСС (основные технические средства и системы) каждой из АСЗИ. Также данное МРМ целесообразно рассматривать к использованию не только для администрирования ТПс, но и для применения в других подсистемах АСЗИ.

## **ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНЧЕСКИХ МЕТРИК ПЕРСОНАЛА КОМПАНИЙ**

*К. Н. Савина, В. Н. Дюпин, А. Э. Копейкин*

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

Ключевым ресурсом современного общества является информация. Для эффективного управления ключевым ресурсом создаются информационные системы. Информационные системы позволяют систематизировать и автоматизировать процессы сбора, обработки и трансляции информации. В масштабах крупной промышленности используются корпоративные информационные системы. Ядром корпоративной информационной системы является система, основанная на знаниях. Система, основанная на знаниях, является разновидностью экспертных систем. База знаний экспертной системы наполняется в процессе развития жизненного цикла предприятий.

Наиболее важным компонентом экспертной системы является опыт экспертов. При высокой стрессовой нагрузке формируется психоэмоциональное истощение нервной системы персонала компании. Для снижения уровня риска утраты ценного опыта экспертов создаются моделирующие имитационные системы, которые позволяют оценить динамику психоэмоциональной нагрузки персонала на различных сценариях развития трудовой деятельности. По итогу работы имитационных систем формируется план бизнес-процессов предприятия.

В докладе представлена имитационная модель поведения человека, которая оценивает характер пространственного перемещения персонала компании. Комплексная система мониторинга информационной системы позволяет предсказать эмоциональное состояние сотрудника через поле ключевых признаков динамических объектов, которое сопоставляется эталонным шаблонам поведения человека [1].

### **Список литературы**

1. Дюпин В. Н. Имитационный слой виртуального адаптационного пространства // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 11-1. С. 37–42.

## **ОПЫТ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ»**

*Д. В. Сахаров, А. В. Кондратьев*

АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород

В докладе представлен комплекс решений по автоматизации конструкторских и технологических бизнес-процессов в АО «ОКБМ Африкантов». Приведено описание этапов создания технологической документации и представлены примеры оптимизации работы исполнителей в процессе разработки/актуализации технологической документации.

Комплекс решений:

1. Предварительная проверка корректности конструкторской документации перед запуском бизнес-процесса, обеспечивающая повышение качества изготавливаемого изделия.
2. Автоматизированное добавление объектов в состав электронного бизнес-процесса на основе технологического процесса.
3. Автоматизированная простановка подписи в определенной графе при запуске бизнес-процесса.
4. Автоматизированная проверка подписей в определенных графах и на определенных типах технологических объектов.
5. Автоматическое заполнение данных об изменениях в электронном комплекте документов.
6. Передача данных из состава технологического процесса в систему регистрации и учета копий документов.
7. Синхронный перевод связанных между собой технологических объектов на аналогичные шаги жизненного цикла в процессе разработки и изменения технологической документации.
8. Автоматическое формирование аутентичного файла для комплекта технологических документов.
9. Автоматическое уведомление разработчиков технологического процесса о риске нарушения сроков выпуска технологической документации.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПОСТРОЕНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

*С. А. Чернышов, А. А. Евстифеев, С. В. Груздев,  
Б. А. Красильников, Д. Б. Николаев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г.Саров Нижегородской обл.

Современное состояние разработок в области интеллектуальных систем в России можно охарактеризовать как стадию все возрастающего интереса. Наибольшие трудности в разработке интеллектуальных систем, основанных на знаниях, вызывает не сколько процесс машинной реализации систем, а этап анализа знаний и проектирования базы знаний. Создание интеллектуальных систем должно включать три этапа: создание материальной системы поддержки (эта проблема в основном решена, так как ИС могут создаваться даже на базе современных персональных компьютеров); создание системы потенциального искусственного интеллекта, то есть программной оболочки, инструментальной системы (таких систем в настоящее время существует пока еще очень мало); обучение и самообучение системы искусственного интеллекта и преобразование ее в реальную ИС. Интеллектуальные системы применяются для решения сложных задач, связанных с использованием слабо формализованных знаний специалистов-практиков, а также с логической обработкой информации. Применение когнитивных технологий открывает новые возможности прогнозирования и управления в различных областях, например, в военной области и области информационной безопасности – противостоять стратегическому информационному оружию, заблаговременно распознавая конфликтные структуры и вырабатывая адекватные меры реагирования на угрозы.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. Теоретическая и математическая физика

Андреюк Н. А., Пятаков Н. П., Якутов Б. П.

Деформация и ускорение углеродной мишени световым давлением лазерного импульса сверхвысокой интенсивности ..... 4

Беляков Е. Д.

Компонент подключения сторонних модулей оптимизации в расчетные схемы модульной интеграционной платформы ЛОГОС-Платформа ..... 6

Ботин Д. Г., Маслов Д. А.

Зарядовое упорядочение ионов железа в соединениях  $\text{RFe}_2\text{O}_4$  в приближении модели среднего поля..... 7

Воробьев О. Ю.

Средства постобработки задач прочности и тепломассопереноса с множественными случаями нагружения в ЛОГОС-Препост ..... 8

Губайдулина Е. А., Беляков Е. Д., Власова А. Ю., Данилова А. А.,

Ломтев А. В., Тишкин Д. А., Тряпкин А. К.

Инструмент разработки специализированных пользовательских графических интерфейсов для проведения комплексного математического моделирования средствами пакета программ ЛОГОС ..... 9

Губайдулина Е. А.

Разработка специализированного графического интерфейса для проведения многокритериальной оптимизации конструкций оборудования и систем для обеспечения вибропрочностных характеристик ..... 11

Евстифеева Е. О.

Алгоритм переноса поверхностной сетки при подготовке расчетных сеток для тонкостенных конструкций ..... 13

Аверин М. С., Баранова А. С., Бусалов А. А., Гнутов А. С., Ермакова И. Ю.,

Ляпин В. В.

Расчетные исследования ДТ-мишени увеличенного размера в комплексе программ ЛАСМ ..... 15

<u>Ерофеев Е. Н., Гришин Д. А., Иванушкин Ю. С., Маврин С. В., Кривошеев О. В.</u> Численный метод бутстреп для проверки статистической A/B гипотезы .....	16
<u>Забавичев И. Ю., Потехин А. А., Пузанов А. С.</u> Анализ параметров кластеров радиационных дефектов в субмикронных транзисторах Шоттки с V-образным затвором после воздействия проникающих излучений .....	17
<u>Илларионов С. Е.</u> Анализ и оценка применения архитектуры RISC-V при создании высокопроизводительных вычислительных систем .....	19
<u>Колесов Г. Н., Дубинов А. Е.</u> Моделирование начальной стадии формирования плазменно-пучкового газового разряда в поле магнитного каспа .....	20
<u>Копейкин А. С., Мищенко Г. М.</u> Численное моделирование пластинчатого модуля Nd:YAG усилителя с зигзагообразным ходом лучей .....	21
<u>Кузиков О. А., Волков М. В., Стариков Ф. А.</u> Численное исследование фазировки 7-канального лазерного излучения с динамическими турбулентными искажениями фазы с учетом транспортной задержки .....	22
<u>Кузина Г. О., Сидоров М. Л., Горев И. В.</u> Особенности моделирования миграции радионуклидов с учетом цепочек радиоактивного распада в цифровом продукте ЛОГОС-Гидрогеология .....	23
<u>Кузьмин В. В., Ломтев В. В., Козачек Ю. В., Нестеров Е. В., Потехин А. Л., Жирнов В. В., Воробьев О. Ю., Черенков П. В., Логинов И. В.</u> Средства постпроцессинга в препостпроцессоре ЛОГОС-Препост для моделирования задач прочности и теплопереноса .....	24
<u>Ларькин А. С., Цалко Т. В.</u> Алгоритм поиска пересечений треугольников в поверхностной треугольной сетке .....	26
<u>Мокеев А. С., Лавров Л. М., Пикалов Е. А.</u> Расчетно-экспериментальные исследования конструкции зеркала с управляемой кривизной поверхности .....	28

Нестеров М. А., Глазунов В. А.

Применение нейросетевого метода для решения одномерного и двумерного уравнения теплопроводности ..... 30

Потехин А. А., Забавичев И. Ю., Пузанов А. С.

Применение локально-неравновесной модели переноса носителей заряда для анализа переходных процессов в субмикронных структурах «кремний на изоляторе» на примере диода Шоттки ..... 32

Рыжов С. А., Маврин С. В., Кривошеев О. В.

Разработка и сравнительный анализ алгоритмов аппроксимации кривых ..... 33

Рыжов С. А., Маврин С. В., Кривошеев О. В.

Сопряжение Безье кривых с дополнительными ограничениями ..... 34

Саламатин Д. А., Стариков Ф. А., Шнягин Р. А.

Численное моделирование коррекции фазовых аберраций лазерного излучения системой из двух адаптивных зеркал под управлением стохастического параллельного градиентного алгоритма ..... 35

Самсонова А. Н., Глазунов В. А., Тришин Р. А.

Восстановление параметров газодинамического потока по контактными измерениям ..... 37

Смагин И. Р., Бондаренко С. В.

Расчет перераспределения мощности излучения в двух пересекающихся в плазме лазерных пучках ..... 39

Степанова Ю. А., Бобровский Д. И., Бобровская И. Ю.

Численный анализ развития неустойчивости на контактных границах слоистых систем ..... 41

Столмакова Е. С., Соловьев А. А., Филатова А. А.

Двумерная методика расчета электромагнитного импульса, генерируемого системой (ЭМИГС) ..... 43

Трушкина Т. С., Сидоров М. Л.

Построение неструктурированных сеток, адаптированных под геологические особенности моделируемых территорий, при решении задач подземной гидродинамики в цифровом продукте ЛОГОС-Гидрогеология ..... 45

Турбылев М. С., Данилов А. Г.

Сравнение методов численного решения одномерных уравнений гидродинамики ..... 47



<u>Хорева А. С., Глазунова Е. В., Будникова И. В.</u> Моделирование расхождения объектов в водной среде .....	48
<u>Червякова О. И., Милешин И. Г., Попов В. В.</u> Генерация и проецирование объемного текста в программном комплексе «Виртуальный 3D-принтер» .....	50
<u>Шавхитдинова А. И., Черенкова М. В.</u> Адаптация алгоритма вычисления дискретной кривизны поверхностной сетки для применения в построении объемной сетки методом отсечения в препроцессоре ЛОГОС Аэро-Гидро .....	51
<u>Суворов А. А., Щербачева О. С.</u> Исследование влияния эффекта пленения резонансного излучения на пространственно-временное распределение населенности в лазерной среде, активированной ионами $Yb^{3+}$ , методом квадратур Гаусса .....	53
<u>Шипуля М. А.</u> Эффекты затенения и реадсорбции в кинетике роста нитевидных нанокристаллов .....	54
<u>Ширяев Д. В.</u> Моделирование теплообмена жидкометаллического свинцового теплоносителя в регулярной ячейке ТВС с применением вихреразрывающих методик .....	55
<u>Ямщиков В. М.</u> Получение аналитического решения задачи о переносе монохроматического излучения через пары атомов калия с целью апробации расчетных программ .....	57
<u>Ямщикова М. А., Ямщиков В. М.</u> Сравнение аналитического и численного расчета роста газового пузыря .....	58
<b>Секция 2. Экспериментальная физика</b>	
<u>Акифьев А. А., Трунцева Р. П., Опекунов А. М., Поляков Л. Е.</u> Оптимизация режимов работы и тепловой расчет сканирующих магнитов системы формирования поля облучения ионного синхротрона ..	60
<u>Болтаев А. М., Зубков А. В., Коваленко В. П., Рябцев В. М., Горчаков О. И.</u> Численное моделирование процесса генерации второй гармоники на лазерной установке нового поколения .....	62

<u>Братишка Э. Н., Городнов А. А., Жирунов А. А., Ефремов М. С., Решетняк А. Д., Пергаев А. О., Рыбакова Е. В.</u> Управление регистрацией протонных изображений при проведении радиографических экспериментов на ускорителе У-70 .....	63
<u>Вишневков Д. А., Головкин С. Ю., Деркач В. Н., Душина Л. А., Пугачёва В.Н.</u> Исследования, направленные на формирование стационарной и одномерной ударной волны .....	65
<u>Гафурова Л. В., Касьянов И. В.</u> Исследование режимов внутриврезонаторной генерации второй гармоники YAG:Nd лазера .....	66
<u>Гребенкин Г. А., Смирнов Е. Б., Сарафанников А. В., Кучко Д. П., Провсирнин К. М., Панкратов Д. Г., Галиуллин И. Г., Ахлюстин И. А., Егзанов К. В., Мирошкин К. М., Воробьев А. В., Гремитских А. С., Попцов А. Г.</u> Применение интерферометрических методов регистрации для определения относительной метателльной способности бризантных взрывчатых веществ .....	67
<u>Девятков С. Д., Борисов Е. С., Вихляев Д. А., Гаврилов Д. С., Емельянов А. В., Носуленко Д. С., Потапов А. В., Пряхина Е. А., Титоренко Н. Ю., Толстоухов П. А.</u> Однокадровая система регистрации теневого рентгеновского изображений на основе сферически изогнутого кристалла .....	69
<u>Жуков В. И., Карфидов Д. М.</u> Структура сверхвысокочастотного разряда низкого давления в аргоне, поддерживаемого полем поверхностной волны .....	71
<u>Зарубина Е. Ю., Рогожина М. А., Чугров И. А.</u> Диагностика параметров слоя изотопов водорода в криогенной мишени для лазерного термоядерного синтеза .....	72
<u>Карлина Е. В., Халдеев Е. В., Батьков М. Ю., Гришина С. Е., Шкуряков А. В., Крутиков П. А.</u> Особенности работоспособности боросодержащих взрывчатых составов .....	74
<u>Карпов В. А., Бакайкин Д. В., Зималин Б. Г., Костюнин Р. Ю., Макаров С. А., Мокрецов Р. В., Мурылев В. В., Попов С. Ф., Савкин А. В.</u> Исследования в интересах повышения одновременности прихода импульсов многоканальной неодимовой установки на лазерную мишень .....	76

<u>Климов А. М., Панов К. Н., Шаврин М. Е.</u> Разложение пластифицированного октогена за фронтом ударной волны .....	77
<u>Колесов Г. Н.</u> Влияние параметров измерительной цепи автогенераторного измерительного преобразователя на генерируемый выходной сигнал .....	79
<u>Краева Н. Н., Чугров И. А., Прохоров С. М., Батуков С. Ю., Соломатина Е. Ю.</u> Разработка системы лазерной микрообработки компонентов мишеней на базе пикосекундного лазера .....	80
<u>Крюков Я. А., Тютин С. В., Цыкин В. С., Хохлов С. В., Коновальцов М. И.</u> Создание мощных когерентных волоконных лазерных каналов .....	81
<u>Макарова М. И., Борисков А. С., Поляков Л. Е.</u> Моделирование динамики ионов $O^{5+}$ в каналах транспортировки линейного ускорителя протонов и легких ионов на энергию 7,5 МэВ/нуклон .....	82
<u>Моисеева П. С., Борисков А. С., Ермолаев С. А., Ефремов М. С., Жирунов А. А., Машагин А. В., Опекунов А. М., Павлов Д. С., Сметанин М. Л., Трунцева Р. П., Чемезов Д. С.</u> Физико-технические принципы реализации бустерного синхротрона тяжело-ионного синхротронного комплекса РФЯЦ-ВНИИЭФ .....	83
<u>Николаев В. Р., Курапов Н. Н.</u> Моделирование радиационных полей за пределами облучательного зала бустерного ускорителя синхротронного комплекса .....	84
<u>Николаева О. Н., Кривошеев Я. В.</u> Роль неоднородного уширения в формировании спектров лазерных жидкостей, активированных ионами $Yb^{3+}$ .....	86
<u>Касьянов И. В., Кононова Р. П., Новоселов А. А.</u> Генерационные характеристики активных элементов из отечественной лазерной керамики .....	87
<u>Ногтев А. А., Белинский А. В.</u> Исследование корреляционно-экстремальной навигационной системы по малоинформативному полю рельефа земной поверхности .....	88

<u>Носуленко Д. С., Вихляев Д. А., Гаврилов Д. С., Борисов Е. С., Девятков С. Д., Емельянов А. В., Карлыханов Н. Г., Лобода П. А., Овечкин А. А., Пахомов С. Н., Пряхина Е. А., Потапов А. В., Титаренко И. Ю.</u> Исследование рентгеноспектральным методом степени прогрева мишеней, облучаемых мощными лазерными импульсами .....	89
<u>Павлов Д. В., Гузов М. А., Опекунов А. М., Опеньшиев П. В., Поляков Л. Е.</u> Исследование электродинамических характеристик ускоряющего резонатора с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой .....	90
<u>Полина Г. Ю., Михайлов Е. С.</u> Использование сигмоидальной функции для расчета электрических полей в ускорительном тракте линейного индукционного ускорителя ...	91
<u>Михайлов Е. С., Пронин И. В., Утюмов Н. Н.</u> Расчет магнитного поля в фокусирующем устройстве ускорителя ЛИУ-Р-Т .....	93
<u>Пронин И. В., Михайлов Е. С., Утюмов Н. Н.</u> Численные исследования режимов работы ускорителя ЛИУ-Р-Т .....	94
<u>Прохоров Д. С., Долин Ю. Н., Калинычев А. Е., Карпов Г. В., Шаталин А. А.</u> Возбуждение электромагнитного импульса рентгеновским излучением сильноточного разряда .....	95
<u>Рябцев В. М., Зубков А. В., Болтаев А. М., Коваленко В. П., Макаров С. А.</u> Измерение углов настройки кристаллов KDP для обеспечения фазового синхронизма 1-го типа при генерации второй гармоники на лазерной установке нового поколения .....	96
<u>Спиркина Л. Е., Ларина Л. А., Дубинов А. Е., Колесов Г. Н.</u> Влияние объемного заряда на режим работы релятивистской ЛОВ .....	97
<u>Тепляков А. Е., Смирнов Е. Б., Сарафанников А. В., Просвирнин К. М., Галиуллин И. Г., Еганов К. В., Мирошкин К. М.</u> Определение критической толщины детонации по методу продольного клина. Факторы, влияющие на величину критической толщины детонации низко-чувствительного взрывчатого вещества на основе ТАТБ .....	98
<u>Труфанов Д. С., Поляков Л. Е., Сметанин М. Л.</u> Моделирование узла ввода ВЧ мощности для ускоряющих резонаторов линейного тяжелоионного ускорителя на энергию 4 МэВ/нуклон .....	99

Фролова Е. А., Иванов К. А., Конкин А. С.

Оценка параметров источника гамма-излучения на основе обратного комптоновского рассеяния ..... 101

Хробостова Е. В., Поляков Л. Е., Опекунов А. М.

Расчет выходных сигналов монитора положения пучка разрезного типа тяжело-ионного синхротрона ..... 102

Шаталин А. А., Калинычев А. Е., Карпов Г. В., Краев Е. В., Прохоров Д. С.

Разработка низкоиндуктивного разрядника-обострителя для высоко-точных экспериментов ..... 104

Яковлев С. А., Безгодков Е. В., Стаханов В. В., Пасюков С. Д., Тараканов А. А., Попов И. А., Никифоров М. В.

Экспериментальное исследование влияния градиента концентрации водорода на горение в замкнутом канале ..... 105

### **Секция 3. Инженерные науки**

Алешин Д. А., Ульянов Д. А., Константинов М. А.

Разработка системы балансировки многоэлементной аккумуляторной батареи с напряжением до 1000 В ..... 108

Арсенова В. С., Краев В. А., Зарубин А. В.

Разработка программного интерфейса взаимодействия устройства-отладчика CAN-шины ..... 109

Барабанов А. В., Белов А. С., Зубец В. Н., Турбабин А. В., Фролов О. Т., Цедрик П. Н., Щербаков А. В.

Градуировка быстродействующего электромагнитного газового клапана ..... 110

Белов А. С., Боброва М. В., Шишкина Н. С.

Разработка процесса формирования полевого оксида высоковольтных ЛДМОП-транзисторов для силовой электроники ..... 111

Березовская М. Г., Шукайло В. П., Бычков В. Б., Шелан В. А., Топорищев К. Г., Торопов И. В., Шестаков А. Е., Фазылов Р. Р., Долинский Ю. Н.

Отработка технологии изготовления наноструктурных аналогов детекторов ГЛД-500К ..... 113

Бесчеров Д. Е., Ереев М. Н., Куликов Д. А., Маслов М. Г., Порфирьев М. С., Савчук Д. В.

Снижение уровня вибрации насосов реакторных установок за счет оптимизации проточной части ..... 114

<u>Богомолов Д. Е., Зотова М. В., Кресов Д. Г., Куликов А. В.</u> Возможность однорежимного использования насосов первого контура в реакторных установках типа РИТМ .....	116
<u>Воробьева М. В., Факеев А. А., Лепехин А. Н.</u> Обоснование безопасности РУ РИТМ-200С для МПЭБ в авариях с потерей теплоносителя первого контура .....	117
<u>Смирнова А. С., Галимов М. И., Свинцова Л. В., Юрченко О. С., Горбоконина О. И.</u> Влияние термической обработки на механические свойства жаропрочного сплава, изготовленного методом 3D печати .....	119
<u>Гладышева Ю. В., Узких А. А., Малых М. В., Белоброва И. А., Исхужин Р. Р., Борисов В. Н.</u> Информативные параметры распространения ультразвуковых нормальных волн в упругих пластинах, подвергнутых одноосному механическому напряжению .....	121
<u>Гришина Л. Е., Криницкий А. К., Черышев А. Г.</u> Применение численного моделирования при проектировании новых систем .....	122
<u>Демьянов С. А., Валежанина Е. И., Картанов С. А., Кораблев С. А., Плужян К. Г., Таценко М. В.</u> О задании источников гамма- и нейтронного излучений при расчете мощности поглощенной дозы от оксида плутония-238 методом Монте-Карло .....	123
<u>Есаулова К. А., Пешехонов Е. В., Трегубенко Д. А.</u> Расчет погрешности вибрационных измерений в соответствии с отраслевой системой обеспечения единства измерений .....	124
<u>Крючков С. Н., Тихонов А. И., Жукаева Ю. И., Красин А. Е.</u> Устройство и методика измерений герметичности ВЗК манометрическим методом .....	125
<u>Злыднева Л. С.</u> Разработка функционального аналога модуля контроля и управления состоянием элементов систем автоматики промышленных объектов ...	127
<u>Пешехонов Е. В., Интяпин Е. В.</u> Измерение температур термопарами и способы повышения точности температурных измерений в диапазоне от –40 до 300 °С .....	128

<u>Карбушев Д. А., Сморгачев Г. Ю., Курганов С. С.</u> Получение кристаллического бора из аморфного бора .....	129
<u>Краев В. А., Зарубин А. В.</u> Носитель информации с защитой от несанкционированного доступа ....	130
<u>Краев Е. А., Райченко А. А., Зарубин А. В.</u> Разработка аналога микроконтроллера на основе анализа рынка отечественной электронной компонентной базы .....	131
<u>Кузнецова Л. Р., Любимова Т. П., Сучкова Л. Н.</u> Технологические решения повышения точности совмещения слоев многослойных печатных плат .....	132
<u>Кутузов Н. В.</u> Разработка прибора автоматизации с применением гибко-жестких печатных плат без применения проводного электромонтажа .....	133
<u>Леванов С. Л., Леванов Л. В.</u> Влияние изменения спектра нейтронов на изотопную кинетику в реакторах ВВЭР .....	134
<u>Лобачев Д. И., Деркач И. Н., Чернов И. Е., Седов Д. С., Гладкий В. Ю., Енцов Р. С., Санников Г. П., Борисов Р. В., Паришин А. А.</u> Аттестация внесосевого параболического зеркала диаметром 1100 мм и определение границ его применения .....	135
<u>Логинова Я. В., Костылев И. В., Костылева А. А.</u> Пробоподготовка и определение изотопного состава бора в борной кислоте методом ЛИМС .....	136
<u>Блинов А. С., Доценко В. В., Жабунина О. Ю., Лушина Ю. Ю., Никульшин М. В., Титов В. В., Товмасын Е. А.</u> Расчетное обоснование прочности конструкций, предназначенных для безопасного перемещения кассет с отработавшим ядерным топливом из бассейна выдержки Белоярской атомной электростанции .....	137
<u>Майоров П. А., Шлячков Н. А., Волгутов В. Ю., Молькова О. А., Пиккулев А. А., Юнин Д. А., Дягель А. Р.</u> Разработка и испытания катализатора для системы каталитической рекомбинации водорода перспективного растворного ядерного реактора ..	139
<u>Борисов В. Н., Лысенко О. В., Мамаева Ю. А., Миронова М. А., Смирнов Ю. Г.</u> Исследование систем лакокрасочных покрытий на углепластике .....	140

Матвеева А. С., Халдеев В. Н.

Электроэрозионное формообразование прецизионных поверхностей сферической формы ..... 142

Митрофанов Н. С.

Разработка физико-химических основ промышленной утилизации факельных газов ..... 143

Мяжкова Ю. С.

Исследование технологии изготовления торцевых металлизированных отверстий в многослойных керамических платах ..... 144

Наумов А. В., Мещеряков В. А., Буртасов С. И., Казаков Е. А.

Анализ и исследование схемотехнических, конструктивных решений для разработки универсального электронного модуля, предназначенного для контроля состояния и автоматического заряда аккумуляторных батарей различных электрохимических систем ..... 145

Блинов А. С., Бычков О. А., Доценко В. В., Малоярославцев А. Н., Нигматуллина А. В., Никульшин М. В., Соколов М. Л., Титов В. В., Юдин С. Ю.

Расчетное обоснование прочности целевой нагрузки при эксплуатации и боевом применении ..... 147

Ордин Н. А., Лысенко О. В., Дровосеков С. П., Сериков А. С.

Герметизация оптического подпора в металлический корпус ..... 148

Ордин Н. А., Турушева М. В., Аминов С. Ю.

Технология изготовления колец и втулок из стеклоприпоя СП-75 ..... 149

Червяков Д. В., Плаксина К. А., Долбищев С. Ф., Чесноков Е. В.

Стенд газовый ..... 150

Пучков Д. И., Краев В. А., Зарубин А. В.

Разработка аппаратных средств отладки устройств на базе CAN-шины ..... 152

Райченко А. А., Краев Е. А., Зарубин А. В.

Разработка базового матричного кристалла как основа микросборки для замены микроконтроллеров в условиях дефицита электронной компонентной базы отечественного производства ..... 153

Седякин Н. И., Соснин В. В., Макаров А. В., Зотов М. Е.

Влияние формы и амплитуды развертки электронного луча на склонность сварного шва к возникновению корневых дефектов ..... 154



<u>Синицын И. А., Юнин Д. А., Кубасов А. А., Кимяев С. А., Демьянов А. В., Майоров П. А.</u>	
Разработка измерительно-управляющего узла макета системы каталитической рекомбинации водорода растворного ядерного реактора .....	155
<u>Спирина Ю. В., Гребенникова С. Э., Кащеев Д. А., Кирсанова Т. Е., Мирошниченко Н. А., Шейков Ю. В.</u>	
Влияние технологических примесей в 1,3,5-триамино-2,4,6-тринитробензоле, получаемом из 2,4,6-трихлоранилина, на кинетические параметры его термораспада .....	157
<u>Теменкова А. А., Дорофеев А. А., Калмыкова С. И., Кудряшкина А. А., Половинкина Н. В.</u>	
Разработка технологии получения полимерного композиционного материала с высокими диэлектрическими свойствами .....	159
<u>Тодоров М. А., Мефодьев А. В., Пятерикова В. В.</u>	
Структура и свойства материалов, полученных по технологии селективного лазерного плавления .....	160
<u>Толоконникова Н. С., Батьянов С. М., Калашикова О. Н., Луковкин О. М., Мильченко Д. В., Шейков Ю. В.</u>	
Исследование алюминизированных взрывчатых композитов для установления механизма лазерного инициирования металлсодержащих взрывчатых веществ .....	161
<u>Тулаева Н. Н.</u>	
Исследование изменения истинной диаграммы деформирования при накоплении повреждений .....	163
<u>Тулаева Н. Н., Минаев И. В., Сергодеев В. В.</u>	
Исследование прочности элементов конструкции металlostеклянного спая .....	164
<u>Тяпков Е. В., Вертей С. В., Мигачев М. И., Сергеева Е. С.</u>	
Перестраиваемый полосно-пропускающий фильтр сантиметрового диапазона длин волн .....	165
<u>Ушков А. В.</u>	
Детерминированная модель всенаправленного ударного датчика .....	166
<u>Пешехонов Е. В., Фигуров Е. В.</u>	
Выбор частоты дискретизации при виброизмерениях широкополосной случайной вибрации .....	167

Харитонычев А. В., Любимова Т. П., Прокофьев Л. И.

Травление проводящих рисунков в технологии изготовления многослойных печатных плат высших классов точности ..... 168

Чиненкова И. П., Усов Ю. В., Усова И. О.

Метод электронной микроскопии как средство исследования многослойных керамических плат ..... 169

Шошин Д. Ю., Шилин К. С., Майоров Р. А., Кульдюшов Д. А.

Реализация автоматизированных режимов работы системы водоподготовки электрофизической установки «Гамма-4» ..... 170

#### **Секция 4. Информационные системы и технологии**

Бульчев Р. В., Дубровин Р. Ю., Рычагов К. К., Аннин Д. Г.

Возможный подход по использованию аппаратных ресурсов GPU в виртуальных машинах, предназначенных для обработки информации ограниченного доступа, в условиях импортозамещения (отечественные ОС, средства виртуализации и средства защиты информации) ..... 172

Васянина В. А.

Анализ проблематики тестирования графического интерфейса пользователя ..... 173

Ивашкин В. В., Михайлюков К. Л., Фролова Н. В.

Программные средства автоматизации подготовки и серийного запуска задач протонной радиографии на многопроцессорных вычислительных системах ..... 174

Казимова Д. М., Грузинцев А. В., Топоров А. В.

Автоматизированная система расчета характеристик кварцевых пьезорезонансных датчиков ускорения для формирования дифференциальных пар ..... 176

Клепцова Л. А., Дюпин В. Н.

Подсистема искусственного интеллекта для выявления топографических элементов в визуальных данных ..... 177

Копейкин А. Э., Дюпин В. Н., Савина К. Н.

Реализация картографического сервиса геоинформационной системы ... 178

Красноярова Д. А.

Средства автоматизации функционального тестирования защищенной операционной системы «Арамид» ..... 179

<i>Лискович А. П.</i>	
Исследование способов повышения точности измерения напряжения с помощью многоканального АЦП в составе микроконтроллера 1874ВЕ7Т .....	181
<i>Лошманова Т. Ф., Рудаков А. Д., Федоров Б. А., Червяков Н. О.</i>	
Разработка аппаратно-программных средств для контроля электрических параметров микросхемы памяти при проведении исследований на стойкость к воздействию ионизирующего излучения .....	182
<i>Мазенков М. А., Звягин Е. А.</i>	
Опыт внедрения производственных терминалов в рамках развития технологии безбумажного производства .....	184
<i>Макаров И. А., Зотова М. В., Зотов И. С., Козлов Р. В., Эзекв А. Г., Давыдов А. В., Цыгвинцев А. Н.</i>	
Опыт внедрения взаимосвязанных расчетов с целью обоснования новых режимов эксплуатации реакторных установок на базе импортозамещающих технологий .....	185
<i>Мальшевский И. К., Маврычев Е. А.</i>	
Оптимальная фильтрация сигналов на графах в фильтрах на фоне коррелированного шума .....	187
<i>Мастюкова А. С., Гавреев М. А., Киктенко Е. О., Федоров А. К.</i>	
Исследование процессов декогеренции в многочастичных квантовых системах .....	189
<i>Новиков В. В.</i>	
Реализация поддержки средств защиты информации ЗОС «Арамид» в веб-сервере NGINX .....	191
<i>Плотников М. В., Гунаев О. В.</i>	
Формирование мобильного рабочего места администратора АСЗИ .....	193
<i>Савина К. Н., Дюпин В. Н., Копейкин А. Э.</i>	
Подход к построению информационной системы анализа поведенческих метрик персонала компаний .....	194
<i>Сахаров Д. В., Кондратьев А. В.</i>	
Опыт автоматизации конструкторских и технологических бизнес-процессов в АО «ОКБМ Африкантов» .....	195
<i>Чернышов С. А., Евстифеев А. А., Груздев С. В., Красильников Б. А., Николаев Д. Б.</i>	
Применение искусственного интеллекта при построении сложных технических устройств .....	196

**Сборник тезисов докладов  
XXI научно-технической конференции  
«Молодежь в науке»  
(24–26 октября 2023 г.)**

Ответственная за выпуск *Попова Н. Н.*

Печатается с оригинальных текстов авторов

Компьютерная подготовка оригинала-макета *Пичурова Ю. В.*

---

Подписано в печать 09.10.2023.    Формат 60×84/16  
Печать офсетная. Усл. печ. л. ~12,26    Уч.-изд. л. ~14,35  
Тираж 200 экз.    Зак. тип. 1885-2023.

---

Отпечатано в ИПЦ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»  
607188, г. Саров Нижегородской обл., ул. Силкина, 23