

Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»  
Государственное бюджетное нетиповое образовательное учреждение  
«Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных»



*Сборник тезисов работ  
участников секции*  
**«Атомные науки и технологии»**  
*XX Всероссийской юношеской  
научно-практической конференции*  
**«БУДУЩЕ СИЛЬНОЙ РОССИИ —  
В ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ»**

*8–10 апреля 2026 года  
Санкт-Петербург*

**Том 1**

Санкт-Петербург  
2026

Тезисы докладов печатаются в авторской редакции.

*«Будущее сильной России – в высоких технологиях»  
сборник тезисов XX Всероссийской юношеской научно-практической  
конференции, ГБНОУ «СПБ ГДТЮ», – СПб, 2026, 13 томов по секциям  
Том 1 «Атомные науки и технологии»*

Отпечатано в РИС ГБНОУ «СПБ ГДТЮ». Тираж 39 экз.

*Сборник тезисов работ  
участников секции  
«Атомные науки и технологии»  
XX Всероссийской юношеской  
научно-практической конференции  
«БУДУЩЕЕ СИЛЬНОЙ РОССИИ –  
В ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ»*

## **Введение**

Научно-практические конференции как наиболее массовая форма привлечения подростков и юношества к научно-техническому творчеству и исследовательской деятельности начали проводиться в Ленинграде в 1973 году. Одним из важнейших факторов развития страны является развитие кадрового потенциала научных и производственных организаций. Для этого необходим постоянный приток в сферу исследовательской деятельности талантливой молодежи. Мировой и отечественный опыт показывает, что для решения этой проблемы необходима системная работа, предусматривающая раннюю профориентацию и привлечение молодежи, начиная со школьного возраста, к участию в выполнении (в том или ином качестве) реальных исследований и экспериментов.

О высоком уровне и значимости конференции говорит тот факт, что с каждым годом растет число участников конференции и уровень их подготовки, а также актуальность и практическая значимость представляемых работ, расширяется география участвующих в конференции регионов. В состав жюри ежегодно входят ведущие ученые, инженеры-конструкторы производственных предприятий Санкт-Петербурга и специалисты образовательных учреждений высшего профессионального образования.

Организаторы конференции: Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», при поддержке Комитета по образованию Санкт-Петербурга, Комитета по промышленной политике, инновациям и торговле Санкт-Петербурга.

## **Технический проект по созданию лазерно-гравировального станка «А-2» для атомной промышленности**

**Барсанов Арсений Владимирович**

МБОУ «Гатчинский Лицей №3 им. Героя Советского Союза А.И. Перегудова»

Гатчина

Научный руководитель – Жалова Елена Вячеславовна

### **Аннотация**

Нами разработан и реализован прототип устройства для лазерной сварки с программируемым контроллером. Станок может в перспективе применяться для бесконтактной лазерной сварки сложнопрофильных деталей и тонких компонентов оборудования атомной отрасли.

### **Ключевые слова**

Лазерный станок, лазерная сварка, программное управление, твердотельный лазер, рабочий прототип

### **Цель работы**

Разработка прототипа устройства для бесконтактной лазерной сварки.

### **Введение**

Лазерные технологии широко применяются в промышленности, в медицине и в атомной отрасли. Сварка лазером – это способ соединения деталей за счет локального плавления, она активно используется в атомной отрасли благодаря высокой точности, малому нагреву вне области контакта и качеству соединения. Особенности работы оборудования в атомной отрасли диктуют требования к технологиям. Прежде всего, это дистанционность, позволяющая обезопасить людей от ионизирующего излучения, но также при этом – точность соединения деталей при сложной конфигурации, высокое качество фиксации и бездефектный шов. Разработка прототипа станка для дистанционной лазерной сварки может быть востребована в атомной промышленности и технологии.

### **Основные тезисы**

В разработанной конструкции лазерного станка используется лазер мощностью 5 Вт от компании LASER TREE, а также контроллер MKS DLC32 v2, являющийся основной платой устройства, и дисплей TS35-R. Контроллер имеет защиту от перегрузки и перегрева, быстро заменяемый предохранитель на самой плате, что позволяет обеспечить безопасность рабочего процесса. Позиционирование лазера по рабочей поверхности происходит при помощи шаговых двигателей Nemo17 (4401) и ходового винта на 8 мм. Направляющие изготовлены из конструкционного профиля 20×40 мм. Все необходимые детали были смоделированы в программе «Компас-3D V23» и напечатаны нами на 3D-принтере Kingroon kr3s pro. Лазерный станок продемонстрировал точность работы, скорость, качество и четкое выполнение заданной программы.

## **Заключение, результаты или выводы**

Разработанный станок демонстрирует стабильность работы и качественные рабочие характеристики. Данный прототип может в перспективе применяться для бесконтактной лазерной сварки сложнопрофильных деталей или тонких компонентов оборудования, применяемого в атомной технологии.

## **Список использованной литературы и источников**

1. Техническая документация лазера LASER TREE и контроллера MKS DLC32 v2

## **Проблемы и перспективы энергетики Арктики**

**Безгодов Богдан Андреевич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Тюмень

Научный руководитель – **Парфенова Елена Михайловна**

### **Аннотация**

Развитие Арктической зоны Российской Федерации невозможно без стабильного обеспечения ее электроэнергией. В докладе рассматриваются возможности применения альтернативных источников электроэнергии наряду с традиционными. По данным проведенного исследования работа содержит диаграммы, гистограммы и графики, отражающие возможности применения традиционных и альтернативных источников энергии в различных районах Арктики и их роль в обеспечении электроэнергией Арктической зоны.

### **Ключевые слова**

Арктическая зона, традиционные источники энергии, альтернативные источники энергии, гибридные энергетические технологии, накопители электроэнергии, цифровые технологии

### **Эпиграф**

Арктика – край земли и начало будущего.

### **Цель работы**

Исследовать возможность использования альтернативных источников электроэнергии наряду с традиционными и применение гибридных энергетических технологий с высокой надежностью и автономностью работы.

### **Введение**

Арктика является одним из основных регионов геостратегических интересов Российской Федерации. Природные ресурсы и экономический потенциал Арктической зоны играет важную роль в устойчивом развитии регионов, расположенных в этой зоне. В Арктическую зону РФ входят: территории Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Таймырского Чукотского автономных округов и частично территории Республики Саха (Якутия), Красноярского края, Архангельской и Мурманской областей, включая земли и острова, расположенные в российском секторе Арктики, а также внутренние морские воды, территориальное

море, континентальный шельф. Потенциал Арктической зоны огромен, но его освоение связано с существенными экологическими, климатическими и технологическими проблемами. Отдельные ее территории сталкиваются с проблемами энергоснабжения, которые объясняются суровым климатом, сложной логистикой доставки топлива во многие районы, с устаревшим оборудованием на дизельных электростанциях и высоким расходом топлива.

### **Основные тезисы**

Развитие Арктической зоны РФ невозможно без стабильного и надежного энергоснабжения. Высокая себестоимость электроэнергии в регионе требует значительных государственных субсидий для сдерживания тарифов для населения, что создает дополнительную нагрузку на бюджет. Обеспечение энергетической независимости арктических территорий является стратегической задачей национального уровня.

### **Заключение, результаты или выводы**

Отказаться от традиционных способов получения электроэнергии, даже учитывая все негативные последствия их работы и степень износа оборудования, нельзя. Развитие энергетики Арктики возможно с учетом обновления устаревшего оборудования дизельных и угольных электростанций и ввод в эксплуатацию более современных газотурбинных установок и источников альтернативной энергетики. Возобновляемые источники энергии не могут в полной мере заменить газ, уголь, мазут и дизельное топливо. Использование возобновляемых источников энергии также ограничено техническими и климатическими условиями. Ветрогенераторы требуют дорогостоящие специальные материалы, а работа солнечных батарей ограничена временными рамками. Использование приливных электростанций и водородной энергетики находятся в стадии эксперимента, а применение водородной энергетики в стадии проекта.

### **Список использованной литературы и источников**

1. Погода в Верхоянске по месяцам в 2015/2024 году Саха (Якутия) – температура воздуха, скорость ветра, влажность – Текст : электронный : [сайт]. – URL: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/verkhoyansk/2024/?ysclid=m6zcsioqcl25061660> (дата обращения 18.09.2025)
2. Погода в Норильске по месяцам в 2015/2024 году – температура воздуха, скорость ветра, влажность – Текст : электронный : [сайт]. – URL: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/norilsk/2015/?ysclid=mh7qhxkcdwi250130014> (дата обращения 19.09.2025)
3. Тарифы на электроэнергию на 2025 год – Текст : электронный : [сайт]. – URL: <https://www.elec.ru/library/rd/tarify-elektroenergiya-2025/?ysclid=mh6evonzj273975823> (дата обращения 11.09.2025).

## Расчётно-экспериментальное обоснование и модель конструкции прототипа ТВЭЛ для РУАСММ (СМ-3)

**Беллер Марк Романович**

МБОУ «Гимназия № 91»

Железногорск, Красноярский Край

Научный руководитель – **Попов Илья Витальевич**, АО «Атомэнергопроект»

### Аннотация

В работе рассматривается процесс разработки метода оптимизации ТВЭЛ (тепловыделяющего элемента), для активной зоны исследовательского реактора СМ-3, на базе которого можно проверить основные теплофизические характеристики произведённого продукта. Для выполнения поставленной задачи были подобраны формулы теплопроводности сердечника, суммарной теплопроводности в осевом направлении всех компонентов ТВЭЛ, максимальной температуры топливного сердечника, создан чертеж общего вида конструкции и смоделированы основные компоненты. Затем были подобраны материалы в соответствии с характеристиками реактора для выполнения задачи. В заключении были сделаны выводы о применимости проведённого исследования в реальных условиях.

### Ключевые слова

ТВЭЛ, СМ-3, РУ-АСММ, ТВС, уран

### Цель работы

Разработка оптимизированного тепловыделяющего элемента для реакторной установки атомной станции малой мощности.

### Введение

Россия – это одна из немногих стран, которые имеют опыт в создании и эксплуатации атомных станций малой мощности – одного из самых надёжных источников энергии в мире. Этот проект в линейке продуктов Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» в отличие от АЭС большой мощности не требует многомиллиардных инвестиций, но также решает поставленные задачи в обеспечении генерации для отдалённых и производственных регионов. В разработке модульной атомной станции в первую очередь ставится упор на эффективность, безопасность, устойчивость и применимость в сфере проектов на экспорт продукции, поэтому каждый элемент в составе станции должен быть максимально полезным с точки зрения каждого из пунктов. В связи с этим оптимизация ТВЭЛ становится одной из ключевых задач при создании реакторов такого типа.

### Основные тезисы

Создание методики проведения необходимых теплофизических расчётов по таким характеристикам, как: теплопроводность сердечника; суммарная теплопроводность в осевом направлении; максимальная допустимая температура топливного сердечника; площадь поперечного сечения ТВЭЛ, длина

конструкции, необходимые размеры активной зоны реактора. Моделирование и прорисовка чертежей и компонентов проведены в программной среде «Компас-3D». В результате поиска и подбора необходимых материалов для тепловыделяющего элемента были выбраны: сердечник -мононитрид урана, обогащённый по U235 20 %, вытеснитель – низколегированный алюминий – марка А5, оболочка – цирконий, матрица – силумин Al-Si-Ni.

### **Заключение, результаты или выводы**

Было проведено частичное повышение эффективности выбранных параметров тепловыделяющего элемента для реакторной установки СМ-3.

### **Список использованной литературы и источников**

1. Федосеев В. Е., Цыканов В. А., Старков В. А. (ГНЦ РФ – НИИАР) «Совершенствование конструкции крестообразного ТВЭЛа для повышения его теплотехнических характеристик» / Научно-технический журнал «Атомная энергия», Т. 98, Вып. 4, апрель 2005 Статья
2. Козлов А.В. (ГНЦ РФ – НИИАР) Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка усовершенствования дисперсионного твэла для высокопоточного реактора типа СМ», 2016 Москва

## **Оценка эффективности методов оптимизации конструкционных параметров стержневых ТВЭЛОВ с винтовым оребрением**

**Бутырин Ярослав Александрович**

Москва

ОАНО «Школа ЦПМ»

Научный руководитель – Панова Дарья Владимировна

### **Аннотация**

В работе представлены результаты исследования конструкционных параметров стержневых тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) с винтовым оребрением для атомных станций малой мощности. Проведен комплексный анализ топливных композиций и материалов оболочек, а также выполнены расчеты нейтронно-физических и тепловых характеристик ТВЭЛов различной геометрии. Методология исследования базируется на компьютерном моделировании в системах «Компас-3Д» и MCNP, что позволило определить оптимальные параметры трех- и четырехлопастных ТВЭЛов. Практическая значимость работы заключается в разработке ТВЭЛов с улучшенными теплотехническими характеристиками и повышенной долговечностью, что особенно важно для эксплуатации в условиях АСММ.

### **Ключевые слова**

АСММ, атомная энергетика, ТВЭЛ, ТВС, ядерный реактор

## Цель работы

Обоснование выбора конструкционных параметров стержневых ТВЭЛов с винтовым оребрением сложной формы для модульных атомных станций малой мощности (АСММ).

## Введение

Мы живем в эпоху взрывного роста энергопотребления. Мощные электроприборы стали неотъемлемой частью как нашего повседневного быта, так и промышленного производства. Атомная энергетика позволяет вырабатывать большие мощности практически без вреда для человеческого здоровья и окружающей среды. Одним из перспективных ее направлений является создание АСММ для локального энергоснабжения и транспорта. Такие станции требуют разработки долговечных и эффективных ТВЭЛов. Значимые результаты в этой области достигнуты в ряде научных работ, [1], [2], однако «идеальный» ТВЭЛ так и не был создан.

## Основные тезисы

На основе анализа существующих малых реакторов были определены ключевые параметры установки и выбраны оптимальные материалы: циркониевый сплав Э110 с хромовым покрытием для оболочки и дисилицид урана для топливной композиции, обеспечивающие высокую теплопроводность и стабильность. С использованием САД-системы «Компас-3D» созданы трехмерные модели ТВЭЛов с различным количеством ребер, для которых проведены комплексные расчеты физических характеристик с применением метода Монте-Карло в коде MCNP. Автоматизация процесса расчета в MCNP реализована через программный код на Python, что позволило определить оптимальное количество ТВЭЛов в тепловыделяющей сборке и необходимое обогащение урана (5,93-6,07%). Тепловые расчеты показали, что трехреберные ТВЭЛы (мощность 63,41 кВт, тепловой поток 56,9 Вт/см<sup>2</sup>) эффективнее для высокомоощных реакторов, тогда как четырехреберные (мощность 61,95 кВт, тепловой поток 55,6 Вт/см<sup>2</sup>) предпочтительнее для установок с редкой перегрузкой топлива.

## Заключение, результаты или выводы

Результаты исследования подтверждают возможность создания эффективных ТВЭЛов с улучшенными теплотехническими характеристиками для применения в реакторах малой мощности, что имеет важное практическое значение для развития атомной энергетики.

## Список использованной литературы и источников

1. Федосеев В.Е., Цыканов В.А., Старков В.А. Совершенствование конструкции крестообразного ТВЭЛа для повышения его теплотехнических характеристик [Текст] / Федосеев В.Е., Цыканов В.А., Старков В.А. // атомная энергия. – 2005. – № 4. – С. 274-279.
2. Козлов А.В. Разработка усовершенствованного дисперсионного ТВЭЛа для высокоточного реактора типа СМ : специальность 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» : Диссертация на соискание кандидата технических наук / Козлов А.В. ; НИЦ «Курчатовский институт». – Москва, 2016. – 24 с.

3. Самойлов А.Г., Волков В.С., Солонин М.И. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов [Текст] / Самойлов А.Г., Волков В.С., Солонин М.И. – 1 изд. – Москва: Энергоатомиздат, 1996 – 400 с.
4. Томские ученые разрабатывают хромовое покрытие для защиты топливных таблеток / [Электронный ресурс] // страна Росатом : [сайт]. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2022/03/22/tomskie-uchenye-razrabatyvajut-hromov/>
5. Nuclear energy agency JANIS / Nuclear energy agency [Электронный ресурс] // NEA : [сайт]. – URL: [https://oecd-nea.org/jcms/pl\\_39910/janis](https://oecd-nea.org/jcms/pl_39910/janis)

## Термомеханический генератор

**Вагин Дмитрий Ильич**

ГБОУ «СОШ № 303»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Своеступова Ирина Владимировна**

### Аннотация

В работе рассматривается процесс создания действующей модели теплового двигателя, работающего за счет разницы температур. На основе анализа цикла Стирлинга спроектирован и собран прототип термомеханического генератора. В ходе исследования экспериментально установлена зависимость частоты вращения вала и выходной электрической мощности от величины перепада температур, а также определены ключевые факторы, влияющие на эффективность системы.

### Ключевые слова

Двигатель Стирлинга, термомеханический генератор, перепад температур, возобновляемая энергия, макетирование, частота вращения, коэффициент полезного действия (КПД)

### Эпиграф

Превратить тепло в работу – вот задача, достойная гения инженера.

### Цель работы

Сконструировать действующую модель двигателя, работающего за счет разницы температур, и исследовать зависимость его эффективности от ключевых параметров (величины перепада температур, материала теплообменников, рабочего газа).

### Введение

В эпоху роста цен на энергоносители и повышенного внимания к экологии, поиск альтернативных способов генерации электроэнергии становится одной из приоритетных задач. Особый интерес представляют устройства, способные преобразовывать низкопотенциальное тепло (солнечное излучение, геотермальные источники, промышленные сбросы) в полезную работу. Одним из таких устройств является двигатель Стирлинга – тепловая машина с внешним подводом тепла, известная своим высоким теоретическим КПД и бесшумностью.

## Основные тезисы

В работе проводится исследование принципов работы термомеханических генераторов на примере модели двигателя Стирлинга. В основе цикла лежит переменный нагрев и охлаждение рабочего газа (воздуха), что создает перепад давления и приводит в движение поршень или мембрану. Одним из ключевых условий устойчивой работы является фазовый сдвиг между движением вытеснителя и рабочей мембраны, обеспечивающий положительную обратную связь. Благодаря отсутствию трения скольжения в резонансной конструкции возможен самозапуск модели при достижении определенного градиента температур.

## Заключение, результаты или выводы

В ходе работы была спроектирована и собрана рабочая модель термомеханического генератора по альфа-схеме цикла Стирлинга. Экспериментально подтверждена зависимость частоты вращения вала от величины перепада температур: увеличение  $\Delta T$  приводит к росту частоты, однако при высоких значениях наблюдается насыщение графика из-за ограниченной теплопередачи. Подключение мини-генератора позволило зафиксировать выходное напряжение до нескольких вольт при нагреве от простых источников (кипяток, солнечный свет). Оптимизация системы (замена воздуха на гелий, улучшение герметичности, использование медных теплообменников) позволила повысить стабильность работы и КПД установки. Результаты доказывают принципиальную возможность использования низкопотенциального тепла для генерации электроэнергии в автономных условиях.

## Список использованной литературы и источников

1. Уокер Г. Двигатели Стирлинга / Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1985. 408 с.
2. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга. М.: Мир, 1986. 464 с.
3. Кириллин В.А. Техническая термодинамика. М.: Наука, 1983. 416 с.
4. Орлов В.Н. Малые энергетические установки на базе двигателей внешнего сгорания // Промышленная

## Изменение периода активности отработавшего ядерного топлива при внедрении МОКС-топлива на примере ВВЭР-1200

**Вронская Полина Кирилловна**

ГБНОУ «СПб ГДТЮ» Аничков лицей

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Вовина Полина Алексеевна**

## Аннотация

Настоящая работа посвящена исследованию изменения периода активности отработавшего ядерного топлива без использования и при использовании технологии смешанного оксидного топлива (МОКС) на примере реакторов класса ВВЭР-1200. В то время как большинство исследований направлено на изучение внедрения МОКС-топлива на быстрых реакторах, данная проектная работа рассматривает применение МОКС-топлива на лёгководных реакторах. Если

большинство публикаций показывает убывание активности отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в целом, то наша работа изучает убывание активности каждого радионуклида в отдельности.

### Ключевые слова

МОКС-топливо, ВВЭР-1200, отработавшее ядерное топливо, минорные актиниды, радиоактивные отходы, активность радионуклида

### Цель работы

Сравнить период активности отработавшего ядерного топлива до и после внедрения МОКС-топлива на примере ВВЭР-1200 и продемонстрировать изменение периода активности на графиках.

### Введение

Развитие человечества во второй половине XX – начале XXI веков немыслимо без колоссальных объёмов энергии, которые может обеспечить развитие ядерной энергетики. Однако при разомкнутом ядерном топливном цикле (ЯТЦ), используемым на большинстве АЭС на данный момент, атомная энергетика сталкивается с противоречием: с одной стороны, использование ядерного топлива обеспечивает высокую энергоэффективность, с другой – приводит к накоплению токсичных радионуклидов, сохраняющих активность в течение сотен тысяч лет. Разрешением этого противоречия может стать замкнутый ЯТЦ, при котором отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) перерабатывается и многократно вовлекается в последующее производство энергии. В Российской Федерации на Белоярской АЭС в 2023 году завершён перевод активной зоны реактора БН-800 на инновационное уран-плутониевое МОКС-топливо, полученное путём переработки ОЯТ, что стало важным шагом к замыканию ЯТЦ. Однако МОКС-топливо может быть использовано и на других реакторах, например на лёгководородных реакторах на тепловых нейтронах, которые составляют большинство реакторов в мире. Нами была выдвинута следующая гипотеза: период активности радиотоксичных нуклидов, содержащихся в ОЯТ при использовании МОКС-топлива сокращается.

### Основные тезисы

Замкнутый ЯТЦ предполагает повторное применение ~99,9% ОЯТ; ОЯТ подвергается химической обработке для отделения делящихся элементов – U и Pu, которые используются для производства смешанного оксидного топлива – МОКС-топлива, смеси обеднённого урана и оксида плутония. Во второй половине XX века в СССР, во Франции, в Японии, в Великобритании и в Германии были созданы экспериментальные и коммерческие реакторы на быстрых нейтронах, работавшие на МОКС-топливе. Реакторы класса ВВЭР были установлены на АЭС в различных странах; самым мощным является ВВЭР-1200. Активность радиоактивного источника определяется по формуле  $A = \lambda N = (dN/dt) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$ . При преобразовании этой формулы была получена формула  $A(t) = (\ln 2 / T_{1/2}) * (NA * m / \mu) * e^{-\ln 2 / T_{1/2} * t}$ , она применялась при построении графиков убывания активности каждого нуклида до уровня активности урановой руды.

### **Заключение, результаты или выводы**

В результате проектной работы наша исходная гипотеза была подтверждена лишь частично. Снижение периода убывания активности верно для изотопов урана и нептуния, для изотопов плутония и минорных актинидов он, наоборот повышается. При этом, некоторые изотопы (U-235, U-238, Pu-239) обладают настолько большими периодами полураспада, что их активность не достигает уровня активности урановой руды даже на очень большом временном промежутке. Соответственно, для эффективного использования МОКС-топлива изотопы плутония и минорных актинидов должны вовлекаться в производство нового МОКС-топлива, а изотопы урана – трансмутироваться для превращения их из высокоактивных отходов в очень короткоживущие отходы. Такие меры позволят уменьшить объём радиоактивных отходов, требующих захоронения.

### **Список использованной литературы и источников**

1. Лекция 24. Радиоактивность. / МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. – 8 с.
2. Leclere, J., Bibilashvili, Y., Reshetnikov, F. [et al.] MOX Fuel Fabrication and Utilization in Fast Reactors Worldwide // MOX Fuel Cycle Technologies for Medium and Long Term Deployment : Proceedings of the Symposium / International Atomic Energy Agency. – Vienna, 2000. – P. 49 – 51.
3. Implications of Partitioning and Transmutation in Radioactive Waste Management // Technical Report Series. – No. 435. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2004. – P. 4 – 8, P. 36 – 47.
4. Nuclear Fuel Cycle Simulation (VISTA) : IAEA-TECDOC 1535. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2007. – P. 19 – 26, 65 – 71.

## **Возможность повышения эффективности процесса разделения изотопов в двухфазных системах**

**Гавриленко Ростислав Артурович**

ГБНОУ «СПБ ГДТЮ»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – Ковтун Владимир Павлович

### **Аннотация**

В данной работе нами изучен процесс увлечения вверх малой части жидкой фазы (стекающей вниз) мощным потоком восходящей газовой фазы. По устным отзывом специалистов этот процесс является паразитным и приводит к увеличению высоты, эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ). Поскольку данное мнение не подтверждается какой-либо научной публикацией, мы исследовали этот вопрос теоретически, используя широко известные методы расчета параметров работы разделительных колонн [1], [2].

### **Ключевые слова**

Разделение изотопов, диффузия, разделительная колонна, легкие элементы, жидкая фаза

## Цель работы

Рассмотреть влияние увлечения вверх малой части жидкой фазы (стекающей вниз) мощным потоком восходящей газовой фазы на процесс разделения легких изотопов.

## Введение

Процесс разделения изотоп легких элементов (водород, углерод, азот и др.) в противоточных насадочных колоннах становится все более актуальным в связи с ростом спроса на эти изотопы в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. В данной работе нами изучен процесс увлечения вверх малой части жидкой фазы (стекающей вниз) мощным потоком восходящей газовой фазы. По устным отзывам специалистов этот процесс является паразитным и приводит к увеличению высота, эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ). Поскольку данное мнение не подтверждается какой-либо научной публикацией, мы исследовали этот вопрос теоретически, используя широко известные методы расчета параметров работы разделительных колонн [1], [2].

## Основные тезисы

Увлечения вверх малой части жидкой фазы (стекающей вниз) мощным потоком восходящей газовой фазы положительно влияет на процесс разделения легких изотопов, уменьшая коэффициент ВЭТТ (высота эквивалентной теоретической тарелки).

## Заключение, результаты или выводы

Как результате работы получена формула для ВЭТТ:  $h = \varepsilon / (\varepsilon + r_2/R) h_0$ , где  $h_0 = 1/3 \cdot ((v_2 R^2)/D_2 + (v_1 r^2)/D_1)$  - ВЭТТ в отсутствие восходящей жидкой фазы, полностью вся формула раскрывается в основном докладе. Физическая суть описанного эффекта становится понятной, если посмотреть на распределение концентраций: увлекаемый вверх тонкий слой жидкой фазы, из-за скачка концентрации, на границе раздела с газовой фазой, создает дополнительный поток обогащающий восходящую массу вещества.

## Список использованной литературы и источников

1. Коминский В.А., Георгадзе Н.А., Isotopenpraxis, 9, 1973
2. Коминский В.А., Георгадзе Н.А., Ковтун В.П., Isotopenpraxis, 9, 1973
3. Андреев Б.М. и др. Разделение изотоп биогенных элементов в двухфазных системах. Москва. Издат. 2003

## **Коррозия и методы защиты в ядерных системах с металлическими теплоносителями**

**Глушков Андрей Владимирович**

МАОУ МО Заречный «СОШ № 1»

Заречный

Научный руководитель – Коптелова Дарина Максимовна

### **Аннотация**

В докладе рассматриваются основные виды коррозии, возникающей в ядерных системах с жидкометаллическими теплоносителями, такими как натрий, свинец и свинцово-висмутная эвтектика. Описаны ключевые механизмы взаимодействия жидких металлов со сталями и современные методы защиты от коррозионных повреждений.

### **Ключевые слова**

Коррозия, жидкие металлы, защитные оксидные пленки, ядерные реакторы

### **Эпиграф**

«Исследователь свободен и должен свободно задавать любые вопросы, сомневаться в любом утверждении»

J. Robert Oppenheimer

### **Цель работы**

Провести анализ коррозионных механизмов в ядерных установках с металлическими теплоносителями и обобщить методы защиты конструкционных материалов для повышения надёжности энергетических систем.

### **Введение**

Атомная промышленность играет важную роль в современной энергетике, обеспечивая высокую производительность при низком воздействии на экологию. В концепции двухкомпонентной ядерной энергетике с замкнутым топливным циклом, роль наработчика ядерных материалов и «расщепителя» долгоживущих продуктов деления отводится реакторам на быстрых нейтронах, которые используют жидкие металлы – натрий, свинец и эвтектические сплавы свинца с висмутом, в качестве теплоносителей. Эти теплоносители эффективно передают тепло, но вызывают коррозионные процессы, которые необходимо контролировать для безопасной работы систем.

### **Основные тезисы**

Ключевые условия работы ядерных реакторов с металлическими теплоносителями зависят от температуры теплоносителя, скорости потока теплоносителя, содержания кислорода и содержания примесей. Коррозия металлов в жидкометаллических теплоносителях происходит по следующим механизмам: селективный вынос (жидкий металл избирательно растворяет наиболее растворимые компоненты сплава), межкристаллитное проникновение (жидкий металл проникает по границам зерен твердого сплава, ослабляя его структуру). В системах с натрием коррозия вызывается растворённым кислородом и примесями, что

приводит к выщелачиванию легирующих элементов из стали. Защита в натриевых системах достигается жестким контролем содержания кислорода и примесей, применением легированных сталей аустенитного класса. В системах со свинцом и свинцом-висмутом коррозия зависит от концентрации растворённого в них кислорода: при оптимальном уровне образуются прочные оксидные пленки, замедляющие разрушение. В свинцовых системах поддерживают кислородный потенциал с помощью дозирования и контроля, чтобы обеспечить стабильность защитных плёнок. В работе предложено нанесение покрытий с использованием импульсных электронных пучков, благодаря которому получено 7% алюминия на внешней поверхности стали. При последующем взаимодействии с кислородом образуется стойкое защитное покрытие из  $Fe_3O_4$  и  $Al_2O_3$ , толщиной 35 нм.

### **Заключение, результаты или выводы**

Коррозия конструкционных материалов – одна из проблем ядерных систем с металлическими теплоносителями. В натриевых системах задача – минимизировать кислород и примеси. В системах со свинцом и Pb-Bi ключевым является поддержание стабильного уровня растворённого кислорода для формирования и поддержания защитных оксидных слоёв. Современные методы контроля и понимание коррозионных процессов повышают надёжность и безопасность ядерных реакторов.

### **Список использованной литературы и источников**

1. Кинев Е.А. и др. Жидкометаллическая коррозия оболочечных сталей в натриевом теплоносителе. ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы, 2017, вып. 3, с. 80-86.
2. <https://studfile.net/preview/9149873/page:2/>
3. <https://en.ppt-online.org/671900>
4. Вайзенбургер А. и др. Коррозия сталей и их защита в ядерных реакторах, охлаждаемых сплавами на основе свинца. ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы, 2016, вып. 1, с. 52-63.

## **Экологические последствия тепловых электростанций и возобновляемых источников энергии: сравнительный анализ**

**Карпушкин Никита Алексеевич**

ГБОУ «СОШ № 303 имени Фридриха Шиллера»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – Своеступова Ирина Владимировна

### **Аннотация**

В работе представлен комплексный сравнительный анализ экологических последствий функционирования тепловых электростанций (ТЭС) и объектов возобновляемой энергетики (ВИЭ). На основе статистических данных по Санкт-Петербургу и Ленинградской области, а также собственного моделирования рассеивания загрязняющих веществ, дана количественная оценка воздействия на атмосферу и экосистемы. Выявлены ключевые экологические риски каждого типа генерации и обоснованы перспективы энергоперехода в регионе.

## Ключевые слова

Тепловые электростанции, возобновляемые источники энергии, парниковые газы, углеродный след, выбросы загрязняющих веществ, экологическое моделирование, устойчивое развитие

## Цель работы

Провести количественный и качественный сравнительный анализ воздействия тепловых электростанций и возобновляемых источников энергии на компоненты окружающей среды на примере объектов энергетики Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

## Введение

Тепловая энергетика, являясь основой российской электроэнергетики, вносит существенный вклад в загрязнение окружающей среды, формируя до четверти всех промышленных выбросов в атмосферу. В то же время активное развитие возобновляемых источников энергии часто позиционируется как безальтернативный путь к «зеленой» экономике. Однако ВИЭ также сопряжены с определенными экологическими издержками на этапах производства оборудования и эксплуатации. Данная работа посвящена объективному сравнению совокупного экологического следа традиционной и альтернативной энергетики для выработки взвешенных рекомендаций по развитию энергокомплекса Северо-Западного региона.

## Основные тезисы

В ходе работы был проведен детальный анализ объемов эмиссии загрязняющих веществ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , твердых частиц) от различных типов генерации. Установлено, что удельные выбросы парниковых газов на газовых ТЭС (на примере ТЭЦ-1) составляют около 490 г  $\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ , в то время как для ветропарков и солнечных станций этот показатель, рассчитанный с учетом полного жизненного цикла (производство, монтаж, утилизация), не превышает 20–50 г  $\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ . Моделирование рассеивания выбросов в программной среде «Ecolmpact» показало, что зона прямого токсического воздействия ТЭЦ-1 охватывает прилегающие жилые районы и природные комплексы, создавая риски для здоровья населения и биоразнообразия. В отличие от этого, воздействие ветропарка ограничивается локальным шумовым эффектом и незначительным влиянием на орнитофауну, которое нивелируется современными системами мониторинга и остановки турбин. Выявлены специфические ограничения ВИЭ, включая ресурсоемкость и применение токсичных компонентов при производстве фотоэлектрических панелей, а также проблемы утилизации отслужившего оборудования. Тем не менее, анализ показывает, что данные риски являются управляемыми и могут быть минимизированы за счет развития технологий замкнутого цикла и совершенствования производственных стандартов, в отличие от постоянных и масштабных выбросов ТЭС в процессе эксплуатации. Социологический опрос 30 респондентов (ученики) зафиксировал высокий запрос общества на экологизацию энергетики. 85% опрошенных осознают негативное влияние ТЭС, а 70% поддерживают ускоренное развитие ВИЭ в Ленинградской области. Экспертное сообщество подчеркивает необходимость государственной поддержки и модернизации сетевой инфраструктуры для интеграции «зеленых» мощностей.

## **Заключение, результаты или выводы**

Проведенное исследование полностью подтвердило выдвинутую гипотезу: возобновляемые источники энергии (на примере солнечной и ветровой генерации) оказывают на порядок меньшее негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с тепловыми электростанциями, даже при консервативной оценке их полного жизненного цикла. На основе полученных данных сформулированы практические рекомендации: интенсификация перехода на ВИЭ в региональном энергобалансе, поэтапная модернизация действующих ТЭС с внедрением наилучших доступных технологий (электрофилтраты, системы каталитической очистки), а также активизация программ экологического просвещения для формирования общественной поддержки энергоперехода.

## **Список использованной литературы и источников**

1. Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002.
2. Иванов А.В. Экология энергетики: проблемы и решения. – М.: Энергоиздат, 2021. – 300 с.
3. Петрова С.М. Возобновляемая энергетика и устойчивое развитие. – СПб.: ЭкоПресс, 2022. – 210 с.
4. Данные Росгидромета по выбросам ТЭС в Ленинградской области, 2023.
5. Международное энергетическое агентство (IEA). Отчёт «Renewables 2023».

## **Повышение однородности нейтронно-трансмутационного легирования кремния в реакторах РБМК-1000 за счет геометрической и динамической оптимизации процесса облучения**

**Кононов Даниил Евгеньевич**

ГБОУ «СОШ № 47»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – Сидоров Никита Михайлович

## **Аннотация**

Работа посвящена решению проблемы неоднородности нейтронно-трансмутационного легирования (НТЛ) кремния в реакторах РБМК-1000. Исследование доказывает, что переход от массивных цилиндрических слитков к плоским пластинам толщиной 10 мм в сочетании с непрерывным вращением кассеты снижает суммарную неоднородность легирования с 18,43% до 0,53%. Предложенная конструкция кассетной сборки с жертвенными экранами позволяет получать полупроводниковый материал наилучшего качества, минимизируя эффекты самоэкранирования и асимметрии нейтронного поля.

## **Ключевые слова**

Нейтронно-трансмутационное легирование, кремний, РБМК-1000, самоэкранирование, геометрическая оптимизация, динамическое облучение, однородность

## Цель работы

Повышение однородности легирования кремния путем оптимизации геометрии и динамики облучения, что позволит минимизировать эффект самоэкранирования и устранить асимметрию нейтронного поля.

## Введение

Современная силовая электроника требует кремния с высокой однородностью удельного электрического сопротивления, чего не удается достичь традиционными методами. Нейтронно-трансмутационное легирование в реакторах РБМК-1000 обладает огромным промышленным потенциалом, однако сталкивается с проблемой самоэкранирования и асимметрии нейтронного потока, по итогу мы получаем кремний с дефектной кристаллической решеткой, что снижает эффективность приборов, где используется данный полупроводник. В крупных слитках диаметром 150 мм радиальный градиент достигает 3,43%, что снижает качество продукта. Гипотеза работы предполагает, что комбинирование изменения геометрии мишени (переход к пластинам) и динамического режима облучения (вращение) повысит чистоту материала.

## Основные тезисы

**Эффект самоэкранирования:** В стандартных цилиндрических слитках внешние слои поглощают нейтроны, создавая неустраняемый градиент концентрации примеси (фосфора) между краем и центром. **Геометрическая оптимизация:** Математическое моделирование подтвердило, что использование пластин толщиной 10 мм вместо цилиндров снижает внутренний градиент легирования до 0,53%. **Борьба с краевыми эффектами:** Для нейтрализации «всплесков» потока на торцах пластин разработаны жертвенные экраны (рамки), принимающие на себя избыточное облучение. **Динамическая компенсация:** Непрерывное вращение кассеты вокруг своей оси полностью усредняет внешнюю асимметрию нейтронного поля, которая в статике достигает 15%. **Инженерное решение:** Спроектирована кассетная сборка на 9 пластин, адаптированная под модернизированные каналы РБМК-1000 диаметром 150 мм.

## Заключение, результаты или выводы

В ходе исследования подтверждена эффективность комбинированного подхода: общая неоднородность легирования снижена более чем в 30 раз (с 18,43% до 0,53%). Доказано, что только сочетание пластинчатой геометрии и вращения кассеты обеспечивает получение сверхчистого НТЛ-кремния в условиях энергетических реакторов. Разработанная методика позволяет масштабировать производство высококачественных полупроводников для нужд электроэнергетики и транспорта.

## Список использованной литературы и источников

1. Ланцов В., Эраносян С. Успехи, трудности и проблемы на пути развития силовой электроники в России //Силовая электроника. – 2008. – №. 15. – С. 4-8.
2. Методы легирования подложки атомами примеси: термическая диффузия, ионная имплантация. Московский государственный университет приборостроения и информатики. Лекции. URL: <https://studfile.net/preview/2877370/page:6/> (дата обращения 09.01.2026);

3. Эффект Самоэкранирования. Справочник технического переводчика. URL: <https://intent.gigatran.com/article/?id=254764> (дата обращения: 09.01.2026);
4. Конструкция реактора РБМК-1000. URL: <http://www.wdcb.ru/mining/sprav/document/rbmk/rbmk4.html> (дата обращения 17.01.2026);
5. Получение изотопно-чистого поликристаллического кремния и исследование его свойств / Годисов О.Н., Калитеевский А.К., Королев В.И. [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т. 35, № 8. – С. 913-916. – EDN RYPDEB.

## **Исследование влияния добавок на эксплуатационные показатели дезактивирующих плёнокообразующих составов**

**Котовенко Ульяна Валерьевна**

ГБОУ «Лицей № 299»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Коряковский Юрий Сергеевич**

### **Аннотация**

Исследовались характеристики модифицированных пленкообразующих составов, предназначенных для дезактивации. Суть работы заключалась в дозировании в исходный состав ВЛ-501 азотной, серной и ортофосфорной кислот; итоговая концентрация кислот в каждой из композиций составляла 3 или 5 % (масс.). Модифицированные составы наносились на металлические образцы. После высыхания рецептуры выполнялось удаление образовавшихся плёнок с анализом их характеристик.

### **Ключевые слова**

Дезактивация, пленкообразующие композиции, ВЛ-501, съёмные полимерные покрытия

### **Цель работы**

Изучение влияния добавок на показатели исходного состава и образуемых им съёмных покрытий.

### **Введение**

Одной из ключевых защитных мер является дезактивация – процесс, направленный на удаление радиоактивного загрязнения с поверхностей. Согласно действующим нормативным документам (НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010), основная цель дезактивации заключается в приведении уровня загрязнения и мощности радиации к безопасным, допустимым значениям. Исходя из этого, развитие и совершенствование технологий дезактивации является актуальной задачей. В частности, это относится к дезактивации съёмными полимерными покрытиями. Съёмные покрытия формируются при нанесении на радиоактивно загрязнённую поверхность полимерных плёнокообразующих составов. Проблема в том, что современные составы не всегда эффективно справляются с удалением прочнофиксированных радионуклидов.

## Основные тезисы

С учётом постоянного прогресса в технологиях возникает и потребность в модификации существующих плёнообразующих составов для усиления их дезактивирующих свойств. Одним из многообещающих путей модификации составов является усиление их различными химическими веществами, в частности кислотами. Так, в данной работе была рассмотрена модификация плёнообразующего состава ВЛ-501 азотной ( $\text{HNO}_3$ ), серной ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) и ортофосфорной ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) кислотами различной концентрации. Исследование включает в себя: проверку жизнеспособности модифицированных составов, качества плёнки и усилий, прикладываемых для удаления покрытия с поверхности; данные представлены в виде таблиц.

## Заключение, результаты или выводы

Добавки почти не влияют на жизнеспособность составов; единственный отмеченный эффект – значительное снижение вязкости состава с азотной кислотой с течением времени. Добавление серной и азотной кислот значительно влияет на показатели снимаемости высушенного покрытия (негативный эффект более выражен для серной кислоты). Ортофосфорная кислота оказывает наименьшее влияние (показатели снимаемости практически аналогичны исходному ВЛ-501), из различий отмечено только повышение эластичности плёнки.

## Список использованной литературы и источников

1. Коряковский Ю.С. Дезактивация: обеспечение радиационной безопасности на предприятиях ядерной отрасли: учебное пособие / Коряковский Ю.С., Доильницын В.А., Акатов А.А. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010.
2. Коряковский Ю.С. Технология дезактивации; учебник / Коряковский Ю.С., Акатов А.А. – СПб: СПбГТИ(ТУ), 2025. – 6 с.

## Карбонильные комплексы рения с гексафторацетилацетонатным лигандом

Крот Екатерина Дмитриевна

Академическая гимназия СПбГУ

Санкт-Петербург

Научный руководитель – Бабитова Екатерина Сергеевна

### Аннотация

В данной работе были синтезированы комплексы  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$ ,  $\text{fac-Re}(\text{CO})_3(\text{hfaa})\text{PPh}_3$  и  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$ . Полученные соединения охарактеризованы методами ИК- и ЯМР-спектроскопией, а также рентгеноструктурным анализом. Установлено, что  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$  устойчив к влаге, в отличие от других тетракарбонильных  $\beta$ -дикетонатных комплексов рения. Комплекс  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$  оказался термодинамически устойчивее  $\text{fac-Re}(\text{CO})_3(\text{hfaa})\text{PPh}_3$ .

### Ключевые слова

Карбонилы рения,  $\beta$ -дикетонатные лиганды, тетракарбонилы рения, ИК-спектроскопия

## Цель работы

Синтез и характеристика комплексов  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$ ,  $\text{fac-Re}(\text{CO})_3(\text{hfaa})\text{PPh}_3$  и  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$ .

## Введение

В настоящее время трикарбонильные и дикарбонильные комплексы рения активно исследуются в связи с их высокой цитотоксичностью по отношению к раковым клеткам и в связи с эффективностью РФП на основе изотопа рения-186/188, обладающих  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучением [1]. В свою очередь,  $\beta$ -дикетонаты проявляют биологическую активность, в том числе в составе координационных соединений с переходными металлами [2]. Таким образом, трикарбонильные и дикарбонильные комплексы рения с  $\beta$ -дикетонатными лигандами являются перспективными объектами для исследования.

## Основные тезисы

В качестве платформы для синтеза был получен  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$  из  $\text{Re}(\text{CO})_5\text{Cl}$  и  $\text{hfaa}$  (в соотношении 1:4) в  $\text{CCl}_4$  при температуре  $60^\circ$  в течение суток и охарактеризован методами ИК- и ЯМР-спектроскопии.  $^1\text{H}$  NMR ( $400\text{ MHz}$ ,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  6.36 (1H);  $^{13}\text{C}$  NMR ( $101\text{ MHz}$ ,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  186.84, 186.31, 177.09 (q,  $J = 36.5\text{ Hz}$ ), 116.71 (q,  $J = 284.0\text{ Hz}$ ), 93.77. Сублимацией в вакууме были получены кристаллы  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$ , но они оказались неудовлетворительного качества ( $R > 10\%$ ). Полученный  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$  оказался устойчивым к влаге, что не характерно для данного класса соединений. Комплекс  $\text{Re}(\text{CO})_3(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)$  был получен в ходе нагревания  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$  с  $\text{PPh}_3$  (в соотношении 1:1,1) в  $\text{CCl}_4$  при температуре  $60^\circ$  в течение 12 часов. Раствор имеет оранжевую окраску. Комплексы  $\text{Re}(\text{CO})_3(\text{hfaa})(\text{EtOH})$  и  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$  были получены в ходе кипячения  $\text{Re}(\text{CO})_3(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)$  в  $\text{EtOH}$  в течение 1 недели. ИК  $\text{Re}(\text{CO})_3(\text{hfaa})(\text{EtOH})$  в  $\text{EtOH}$  ( $\nu(\text{CO})$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 2033.5, 1916.3. В процессе реакции наблюдалось выпадение бурого осадка  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$ . Реакционную смесь отфильтровали на стекловолокном фильтре, полученный  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$  был охарактеризован методом ИК-спектроскопии. При кристаллизации реакционной смеси из  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , были получены монокристаллы  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$ , которые были охарактеризованы методом рентгеноструктурного анализа. Получить  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$  напрямую из  $\text{Re}(\text{CO})_4(\text{hfaa})$  и  $\text{PPh}_3$  не удалось, в результате реакции на ИК спектре реакционной смеси наблюдалась смесь моно- и дифосфинового комплекса.

## Заключение, результаты или выводы

В ходе работы был получен и охарактеризован ряд карбонильных соединений рения с гексафторацетилацетоном. Установлено, что в отличие от других тетракарбонильных комплексов  $\text{Re}(\text{hfaa})(\text{CO})_4$  является достаточно устойчивым. Кроме того, предложен простой метод синтеза дикарбонильного комплекса  $\text{Re}(\text{CO})_2(\text{hfaa})(\text{PPh}_3)_2$ , также проявляющего повышенную устойчивость в присутствии слабых доноров, таких как этанол.

## Список использованной литературы

1. Schindler K., Zobi F., Anticancer and Antibiotic Rhenium Tri- and Dicarboxylate Complexes: Current Research and Future Perspectives, *Molecules* 2022, 27, 539.
2. Scholtysik, C.; Njiki Noufele, C.; Hagenbach, A.; Abram, U. Complexes of Technetium(V) and Rhenium(V) with  $\beta$ -Diketones. *Inorg. Chem.* 2019, 58 (8), 5241–5252.

## Перспективы разработки сверхпроводящих трансформаторов

**Кузьмин Роман Евгеньевич**

ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», ИСПО

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Ивашкова Надежда Александровна**

### Аннотация

В работе рассмотрены перспективы разработки и внедрения сверхпроводящих трансформаторов в электроэнергетике. Проанализированы физические основы сверхпроводимости, особенности конструкции сверхпроводящих трансформаторов, их преимущества и ограничения. Особое внимание уделено оценке применимости технологии в условиях модернизации энергетической инфраструктуры Российской Федерации. Показано, что сверхпроводящие трансформаторы обладают значительным потенциалом, однако их широкое внедрение сдерживается экономическими и технологическими факторами.

### Ключевые слова

Сверхпроводимость, трансформатор, высокотемпературные сверхпроводники, энергоэффективность, криогенные технологии, электроэнергетика

### Цель работы

Оценка перспектив разработки и внедрения сверхпроводящих трансформаторов с учётом их технических преимуществ, ограничений и условий применения в электроэнергетике.

### Введение

Рост потребления электроэнергии и необходимость модернизации сетевой инфраструктуры требуют повышения энергоэффективности оборудования. Существенная часть потерь возникает в силовых трансформаторах, что стимулирует поиск новых технологических решений. Одним из перспективных направлений является использование сверхпроводящих материалов, обладающих свойством практически полного отсутствия электрического сопротивления при низких температурах. Применение сверхпроводимости в трансформаторной технике потенциально позволяет снизить потери и уменьшить габариты оборудования.

### Основные тезисы

Сверхпроводимость представляет собой состояние материала, при котором при охлаждении ниже критической температуры резко уменьшается электрическое сопротивление. В энергетике наибольший интерес представляют высокотемпературные сверхпроводники, работающие при температурах жидкого азота. В сверхпроводящем трансформаторе обмотки выполняются из ВТСП-материалов и размещаются в криостате, обеспечивающем поддержание необходимой температуры. При этом принцип действия устройства остаётся основанным на электромагнитной индукции. К основным преимуществам сверхпроводящих трансформаторов относятся:

- снижение активных потерь в обмотках;
- повышение энергетической эффективности;
- уменьшение габаритов и массы; – снижение тепловой нагрузки на изоляцию;
- потенциальное повышение пожарной и экологической безопасности.

Наибольший эффект ожидается в условиях высокой плотности мощности и ограниченного пространства (городские и подземные подстанции). Несмотря на преимущества, технология имеет ряд серьёзных ограничений: высокая стоимость ВТСП-материалов, необходимость криогенной системы охлаждения, наличие потерь при переменном токе, а также риск перехода сверхпроводника в нормальное состояние при превышении критических параметров. Это усложняет конструкцию и повышает требования к системам защиты и эксплуатации. Наиболее реалистичным сценарием является поэтапное внедрение через пилотные проекты на объектах с особыми требованиями к компактности и безопасности.

### **Заключение, результаты или выводы**

Сверхпроводящие трансформаторы представляют собой перспективное направление развития электроэнергетического оборудования. Они обладают потенциалом повышения энергоэффективности и компактности по сравнению с традиционными решениями. Вместе с тем широкое внедрение сдерживается высокой стоимостью и технологической сложностью. На ближайшем этапе целесообразно развитие пилотных проектов и совершенствование отечественных сверхпроводящих технологий, что позволит в перспективе расширить сферу применения данного оборудования.

### **Список использованной литературы и источников**

1. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – М., 2008.
2. Опачий Ф. Энергопотребление в России в 2024 году увеличилось на 3,1% // АО «Системный оператор ЕЭС». – 2025.
3. Опыт разработок «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» на пути внедрения в электроэнергетику сверхпроводящего оборудования // Энергия единой сети. – 2021. – № 4 (59).
4. Российские электросети работают на износ // Независимая газета. – 2024.

## **Совместная экстракция иттрия и РЗЭ из карбонатных сред синергетической смесью 2,3-дигидроксинафталина и карбоната метилтриоктиламмония**

**Кутуева Амалия Альбертовна**

ФГБОУ ВО «СПбГУ»

Петергоф

Научный руководитель – **Бречалов Александр Алексеевич**

### **Аннотация**

В ходе работы была изучена экстракция иттрия, европия и эрбия из карбонатных сред синергетической смесью 2,3-дигидроксинафталина и карбоната метилтриоктиламмония. Установлены крайне высокие коэффициенты распределения – более 1000 – по всем 3 элементам при использовании свежего раствора экстрагента. При длительном стоянии в системе протекает окисление 2,3-дигидроксинафталина, что приводит к существенному снижению эффективности экстракции.

### **Ключевые слова**

Иттрий, редкоземельные элементы, жидкостная экстракция, синергетическая экстракция, карбонатные среды

### **Цель работы**

Изучение возможности селективного извлечения иттрия, европия и эрбия как классических представителей группы редкоземельных металлов из карбонатных сред.

### **Введение**

Иттрий-90 – перспективный изотоп для использования в радиотерапии онкологических заболеваний. Для его использования, особенно в генераторном варианте, необходимо найти метод его отделения от материнского невероятно радиотоксичного изотопа стронция-90, для чего может быть использована жидкостная экстракция из карбонатных сред. Кроме того, тем же методом могут быть извлечены из карбонатных концентратов другие редкоземельные металлы, являющиеся ценными промышленными элементами. Кроме того, многие изотопы редкоземельных элементов, нарабатываемые в ходе реакций деления урана, являются нейтронными ядами и должны быть выделены из отработавшего ядерного топлива при его переработке с целью дальнейшего использования в замкнутом ядерном топливном цикле.

### **Основные тезисы**

В ходе работы было установлено, что известная по литературным данным экстракционная система извлечения иттрия из карбонатных сред смесью 2,3-ДГН и МТОАК отличается крайне низкой воспроизводимостью, что ранее не было отмечено. При использовании свежего, только что приготовленного раствора экстрагент демонстрирует чрезвычайно высокую эффективность – коэффициенты распределения иттрия, европия и эрбия превышают 1000. В том же самом

растворе после отстаивания на воздухе в течение 1 месяца коэффициенты распределения падают до опубликованных в литературе значений – 50-100. Деградация экстрагента была изучена с использованием УФ-Вид и ЯМР-спектроскопии. Установлено, что 2,3-ДГН окисляется до карбонильных соединений, уже не обладающих способностью экстрагировать редкоземельные элементы.

### **Заключение, результаты или выводы**

В исследованной системе коэффициенты распределения резко уменьшаются при стоянии на воздухе, что объясняется окислением фенольных соединений при действии кислорода воздуха. При этом до окисления синергетическая смесь 2,3-ДГН с МТОАК показывает крайне высокие коэффициенты распределения. Вероятно, дальнейшие исследования извлечения редкоземельных элементов и иттрия из карбонатных сред следует сосредоточить на поиске более устойчивых к окислению фенолов.

### **Список использованной литературы и источников**

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 24–2025 «Производство редких и редкоземельных металлов» // Справочники НДТ – 2025
1. Harb, A.H.A., Balantsev, I.V., Karavan, M.D. et al. Yttrium-90 recovery from carbonate media with binary extractants based on hydroxyaromatic compounds and methyltriocetylammmonium carbonate // J. Radioanal. Nucl. Chem., 2025, 334, 2131–213.
2. Harb, A.H.A., Balantsev, I.V., Karavan, M.D. et al. Extraction of Yttrium from Carbonate Media Using Mixtures of Aromatic Dihydroxy Compounds and Methyltriocetylammmonium Carbonate // Radiochemistry, 2023, 65, 219–225

## **Разработка и создание трековой камеры на элементах Пельтье для визуализации ионизирующего излучения**

**Лубенцов Александр Алексеевич**

ГБОУ «ИТШ № 777»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – Дзюба Никита Павлович

### **Аннотация**

В данной работе представлена разработка трековой камеры с использованием элементов Пельтье и системы жидкостного охлаждения. Устройство предназначено для визуализации треков заряженных частиц, испускаемых радиоактивными источниками. Сама визуализация происходит за счет ионизации паров спирта пролетающими частицами.

### **Ключевые слова**

Трековая камера, элементы Пельтье, ионизирующее излучение, визуализация, физика частиц, жидкостное охлаждение.

## Цель работы

Сборка и настройка функциональной трековой камеры для отслеживания траекторий частиц от радиоактивных элементов, аналогичной камере Вильсона, а также проведение серии экспериментов для получения статистики. Камера может использоваться в образовательных целях.

## Введение

Регистрация ионизирующего излучения является одной из фундаментальных задач ядерной физики. Исторически первым устройством, позволившим визуализировать следы заряженных частиц, стала камера Вильсона. Традиционные школьные эксперименты часто затруднены из-за необходимости создавать специфические условия. Данный проект предлагает современное инженерное решение: использование элементов Пельтье в сочетании с системой жидкостного охлаждения. Это позволяет создать стабильную температуру, необходимую для образования перенасыщенного пара. Актуальность работы обусловлена необходимостью развития автономных методов детектирования ионизирующего излучения, не зависящих от криогенных расходных материалов, популяризации ядерной физики и предоставления учащимся инструмента для наглядного изучения невидимых процессов.

## Основные тезисы

Разработано безопасное устройство для визуализации ионизирующего излучения на базе элементов Пельтье, с использованием системы питания, жидкостного охлаждения и внедрением теплоизолированного герметичного контура с контролем температурного градиента. Принцип действия – основан на конденсации перенасыщенного пара спирта на ионах, образующихся вдоль траектории пролета заряженной частицы. Техническая реализация – включала электромонтаж, механическую обработку оргстекла, металла, создание термоизоляции и сборку контура жидкостного охлаждения (помпы, радиаторы, трубки, штуцеры). Практическая значимость – возможность наглядной демонстрации треков частиц, изучения различий между альфа- и бета-частицами, а также получения статистики для учебных целей, а также развитие автономных методов трекинга ионизирующего излучения.

## Заключение, результаты или выводы

В ходе работы была успешно собрана и настроена трековая камера на элементах Пельтье. Система жидкостного охлаждения обеспечила стабильный температурный режим, необходимый для образования перенасыщенного пара. Визуализированы треки заряженных частиц. Проект доказал возможность создания сложного физического детектора в условиях школьной лаборатории с использованием доступных компонентов.

## Список использованной литературы и источников

1. Техническая документация на термоэлектрические модули (элементы Пельтье) и системы жидкостного охлаждения.

# Инновационный пожарный шлем: технология LiDAR и нейросетевая классификация

Новошинская Марина Ивановна

БОУ ОО «Созвездие Орла»

пгт. Знаменка

Научный руководитель – Буянова Екатерина Алексеевна

## Аннотация

Пожарные ежедневно рискуют своей жизнью, спасая людей. Только за 2024 год произошло более 96 тысяч пожаров в жилых помещениях по всей стране. Для большей эффективности и безопасности работы служб МЧС необходимы более инновационные решения, с использованием современных технологий, например, таких как LiDAR и нейросетевая классификация (модель Convolutional Neural Network). Совместная работа данных методов поможет лучше ориентироваться в задымлённом помещении и будет предупреждать об опасностях.

## Ключевые слова

Лидар, нейросетевая классификация, пожарный шлем, дисплей

## Цель работы

Разработка конструкции пожарного шлема для ориентирования работников служб МЧС в задымленных пространствах.

## Введение

В задымлённых помещениях пожарные подвергаются высокому риску из-за ограниченной видимости и сложностей с ориентацией. Для решения данной проблемы разработан проект по созданию инновационного пожарного шлема. В шлем интегрирован компактный лидар, который сканирует окружающее пространство и формирует трёхмерное облако точек. На основе данных с лидара свёрточная нейросеть в реальном времени обрабатывает информацию, выделяя ключевые объекты и преобразуя их в 3D-карту помещения. Эта карта отображается на прозрачном визоре, встроенном в дисплей шлема, что позволяет пожарным ориентироваться в пространстве даже при полном отсутствии видимости. Проект направлен на повышение безопасности и эффективности работы пожарных в чрезвычайных ситуациях. Использование современных технологий делает данный шлем инновационным инструментом, способным оптимизировать спасательные операции.

## Основные тезисы

Пожарные работают в опасных для жизни условиях задымления, что снижает видимость и усложняет ориентацию. Высокий риск для жизни требует внедрения новых технологий. Они позволят повысить безопасность и эффективность работы пожарных.

Проведен анализ методик ориентации в пространстве. Изучено устройство технологии LiDAR (основные компоненты, особенности). Изучена архитектура и принцип работы свёрточных нейронных сетей. Созданы алгоритмы работы устройства на основе алгоритмов работы CNN. Определена компонентная база

устройства. Разработана и распечатана 3D-модель пожарного шлема. Проведен обзор аналогичных устройств для ориентации в пространстве.

### **Заключение, результаты или выводы**

В ходе работы был проведён анализ методик, использующихся для формирования 3D карт. Были изучены теоретические основы, включая устройство лидара, а также архитектуру и принцип работы сверточных нейронных сетей CNN. Были разработаны алгоритмы работы устройства. Была определена компонентная база устройства.

В программе Компас-3D была создана модель сборки пожарного шлема, впоследствии модель была распечатана на 3D-принтере. Итогом работы является вывод о том, что разрабатываемый инновационный пожарный шлем улучшит качество ориентации работников пожарных служб и служб МЧС в задымлённых пространствах.

### **Список использованной литературы и источников**

1. МЧС России: за год количество пожаров в жилье снизилось на 12% / [Электронный ресурс] // Гороховское муниципальное образование Иркутского района Иркутской области. Официальный сайт: [сайт]. – URL: <https://perviy-vestnik.ru/literatura/?yclid=7027303694809169919> (дата обращения: 07.12.2025)
2. Lidar: что это за технология и зачем она нужна / [Электронный ресурс] // ЭльдоБлог: [сайт]. – URL: <https://www.eldorado.ru/blog/publications/lidar-cto-eto-za-tekhnologiya-i-zachem-ona-nuzhna-35587> (дата обращения: 09.08.2025)
3. Быстрое визуальное программирование (no Code / Low Code) автоматике с Node-RED на Репка Pi (Часть 1. Установка Node-RED) / [Электронный ресурс] // Репка: [сайт]. – URL: <https://repka-pi.ru/blog/post/30> (дата обращения: 14.07.2025)
4. Копиев Г. Лидар научили видеть сквозь туман / Копиев Г. [Электронный ресурс] // N+1: [сайт]. – URL: <https://nplus1.ru/news/2018/03/22/seeing-through-fog> (дата обращения: 23.07.2025)
5. Завозин В.А., Гришин М.Я. Лазерное зондирование многослойных туманов лидаром с безопасным для глаз уровнем излучения / Завозин В.А., Гришин М.Я. [Электронный ресурс] // cyberleninka: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernoe-zondirovanie-mnogosloynnyh-tumanov-lidarom-s-bezopasnym-dlya-glaz-urovнем-izlucheniya/viewer> (дата обращения: 14.08.2025)
6. Мехтиев Дж. С. Вопросы использования лидаров для контроля лесных пожаров в горных массивах / Мехтиев Дж.С. [Электронный ресурс] // cyberleninka: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-ispolzovaniya-lidarov-dlya-kontrolya-lesnyh-pozharov-v-gornyyh-massivah/viewer> (дата обращения: 14.09.2025).

## **Разработка захвата для роботизированного комплекса, осуществляющего работы по демонтажу графитовых изделий при выводе из эксплуатации реактора РБМК-1000**

**Салихова Дарина Марсовна**

МБОУ «Гимназия № 96»

Казань

Научный руководитель – Степанов Михаил Андреевич

### **Аннотация**

Данная работа направлена на создание захвата для роботизированного комплекса с целью извлечения графитовых изделий из активной зоны реактора РБМК-1000. В ходе работы был проведен анализ существующих решений по демонтажу ядерных реакторов, разработана новая конструкция захвата, включающая распорную подушку и вакуумные присоски, составлена расчетная схема. Выполнены прочностные расчёты в системе КОМПАС-3D APM FEM, проведено тестирование прототипа конструкции на работоспособность.

### **Ключевые слова**

Вывод из эксплуатации, реактор РБМК-1000, демонтаж, графитовая кладка, зона отражателя, конструкция захвата, фрагментированные графитовые блоки, графитовые втулки

### **Цель работы**

Разработать и модернизировать конструкцию захвата для роботизированного комплекса, осуществляющего работы по демонтажу графитовых изделий при выводе из эксплуатации реактора РБМК-1000.

### **Введение**

Сегодня в мире эксплуатируется более 400 энергоблоков АЭС, вводятся в строй более 50, однако в то же время порядка 200 блоков остановлено для последующего вывода из эксплуатации в связи с окончанием жизненного цикла станции. В настоящее время проводятся такие работы поэтапного окончательного останова реакторов РБМК (Ленинградская и Курская АЭС) и ЭГП-6 (Билибинская АЭС). Эта задача является технически сложной и сопровождается большим количеством работ в радиационно-опасных условиях, что требует применения дистанционно управляемых робототехнических комплексов (РТК). Трудностью при демонтаже некоторых уран-графитовых реакторов является неудовлетворительное состояние части графитовой кладки – конструкции, состоящей более чем из 30 тысяч графитовых блоков и втулок. Значительная часть этих блоков фрагментирована, и их демонтаж представляет собой очередной вызов, стоящий перед участниками вывода из эксплуатации АЭС [1, 2]. На данный момент специализированный захват, позволяющий безопасно и эффективно извлекать фрагментированные графитовые блоки и втулки из реактора без разрушения и пылеобразования, отсутствует.

## Основные тезисы

Были рассмотрены и проанализированы существующие решения по демонтажу конструкций отечественных и зарубежных ядерных реакторов различного типа [1,3]. Разработана конструкция захвата. Предлагается распорная резиновая подушка для подъема блока. Извлечение графитовых втулок будет осуществляться вакуумными присосками. Графитовый блок по мере подъема будет заходить в тубус, который сохранит целостность блока. Проведены расчеты графитового блока по напряжениям и линейным перемещениям точек канала в программе КОМПАС-3D (библиотека APM FEM). Детали прототипа захвата были распечатаны на 3D-принтере. В масштабе 1:2 были выполнены макеты графитовых изделий (фрагментированный блок и втулка).

## Заключение, результаты или выводы

На данном этапе работы над проектом была спроектирована конструкция захвата, которая обеспечит требуемый функционал: извлечение фрагментированных блоков и графитовых втулок. Помимо этого были проведены расчеты: требуемых нагрузок (необходимого давления в распорной подушке); напряжений, возникающих в графитовом блоке. Габариты основной части механизма не превышают диаметра отверстия технологического канала и равны 100 мм, высота составляет 892 мм, что также не превышает допустимые 1700 мм. Согласно прочностным расчетам в графите возможны напряжения  $\approx 0,07$  МПа, которые не превышают 29 МПа (предела прочности при сжатии) [4]. При дальнейшей разработке захват фрагментированных блоков может быть внедрен для роботизированного комплекса, осуществляющего работы по демонтажу графитовых блоков при выводе из эксплуатации реактора РБМК-1000 и других уран-графитовых реакторов.

## Список использованной литературы и источников

1. Павлюк А.О., Котляревский С.Г., Риф А.Э., Кан Р.И., Загуменнов В.С, Падерин Е.С., Шешин А.А., Зеленецкая Е.П. Обзор отечественного опыта и подходов по извлечению графита из уран-графитовых реакторов // Радиоактивные отходы. 2023. No 4 (25). С. 35—54. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-4-35-54
2. Павлюк А.О., Котляревский С.Г., Беспала Е.В., Риф А.Э., Кан Р.И. Зарубежный опыт и подходы к извлечению графита из уран-графитовых реакторов // Радиоактивные отходы. 2023. No2 (23). С. 41—55. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-2-41-55.
3. Шелегов А.С., Лескин С.Т., Слободчук В.И. Физические особенности и конструкция реактора РБМК-1000: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011, – 64 с. URL: [https://elib.biblioatom.ru/text/shelegov\\_fizicheskie-osobennosti-rbmk-1000\\_2011/p1/](https://elib.biblioatom.ru/text/shelegov_fizicheskie-osobennosti-rbmk-1000_2011/p1/)

## **Влияние добавок на качество цементной матрицы при отверждении РАО**

**Шмелёв Артём Алексеевич**

ГБОУ «СОШ № 407 имени В.П. Бухтеева»

Пушкин

Научный руководитель – **Акатов Андрей Андреевич**

### **Аннотация**

Иммобилизация радиоактивных отходов (РАО) – это их перевод в твердую форму посредством отверждения, включения в матрицу или заключения в герметичные оболочки [1]. Наиболее технологически освоенным и универсальным способом отверждения низко- и среднеактивных отходов остаётся цементирование [2]. Компоненты, присутствующие в составе РАО, могут влиять на качество получаемого цементного камня. В данной работе проведено исследование влияния нескольких добавок (соляной кислоты, сульфата натрия и оксида железа (III)) на механическую прочность и химическую устойчивость цементной матрицы без введения радионуклидов.

### **Ключевые слова**

Цементирование РАО, матрица, механическая прочность, химическая устойчивость, скорость выщелачивания

### **Эпиграф**

«Прошлое – это лишь пролог»

Уильям Шекспир

### **Цель работы**

Исследовать влияние различных добавок на прочность и химическую устойчивость цементных компаундов.

### **Введение**

Перед окончательной изоляцией РАО требуется их кондиционировать, т.е. перевести в химически стойкое, экологически безопасное состояние. Для низко- и среднеактивных отходов наиболее распространённым способом отверждения является цементирование [3]; в России для этой цели широко используется портландцемент марки 400 (ПЦ400) [2]. Тем не менее, компоненты, присутствующие в составе отверждаемых отходов, могут существенно влиять как на прочностные характеристики получаемого компаунда, так и на его способность удерживать в себе радионуклиды.

### **Основные тезисы**

В ходе работы были приготовлены образцы цементного компаунда на основе ПД500 ДО при раствороцементном отношении (РЦО) 0,5 с внесением различных добавок. В первом случае цемент затворили дистиллированной водой, не внося добавок (контрольные образцы); во втором – затворили 6 М соляной кислотой; в третьем – затворили водой, но добавили сульфат натрия в количестве 10 % от массы цемента; в четвертом – в той же пропорции внесли оксид железа (III).

Образцы имели форму куба 20×20×20 мм. Их испытали на механическую прочность при раздавливании с помощью машины Shimadzu AG-50kNXD, а также на химическую устойчивость в дистиллированной воде по методике на основе ГОСТ Р 52126-2003. Результаты показали, что внесение добавок, как минимум, не снизило прочность образцов по сравнению с контрольными, а в случае соляной кислоты и сульфата натрия – даже повысило. Скорость выщелачивания кальция из образцов с добавками также была близка к значениям для контрольных образцов, за исключением компаундов, затворенных 6 М соляной кислотой, где наблюдалось резкое повышение скорости выщелачивания (на порядок). По-видимому, сульфат натрия является эффективным ускорителем твердения, повышающим прочность компаунда за счёт улучшения структуры гидратных фаз цемента; оксид железа (II) действует как инертный наполнитель; соляная кислота ухудшает структуру цементного камня, делая его более растворимым за счёт присутствия ионов хлора.

### **Заключение, результаты или выводы**

Оптимальной по механической прочности и химической устойчивости оказалась цементная матрица с добавлением сульфата натрия. Она была в два раза более прочной по сравнению с контрольной (без добавок) и показала немного меньшую скорость выщелачивания кальция. Сульфат натрия действует как активный ускоритель гидратации цементного компаунда: он реагирует гидроксидом кальция, образуя мелкодисперсный гипс, который работает в качестве центров кристаллизации. Микропоры компаунда также заполняются гипсом, что слегка повышает его химическую устойчивость.

### **Список использованной литературы и источников**

1. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами: учебное пособие, IAEA-TCS-27. Вена: Международное агентство по атомной энергии, IAEA-TCS-27, 2005, 230 с. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS-27\\_R\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS-27_R_web.pdf).
2. Винницкий В.А., Акатов А.А., Михальченко А.Г. Цементирование радиоактивных отходов и определение скорости выщелачивания: методические указания лабораторной работе. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014, 24 с.
3. Андрюшин И.А., Юдин Ю.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Саров: РФЯЦ-ВНИИОФ, 2010, 138 С. [https://atompool.ru/images/data/gallery/1\\_7365.\\_spentfuel.pdf](https://atompool.ru/images/data/gallery/1_7365._spentfuel.pdf).

## **Изменение экологической обстановки в зоне аварии на Чернобыльской АЭС и тенденции дальнейших изменений**

**Шутов Юрий Владимирович**

ГБОУ «СОШ № 582»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Брянский Дмитрий Александрович**

### **Аннотация**

В работе рассматривается динамика радиоактивного загрязнения в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС за 40 лет, прошедших после аварии. Проведён анализ изменения активности основных дозообразующих радионуклидов, их миграции в почве и включения в биологические цепочки. Особое внимание уделено долговременным тенденциям: процессам самоочищения экосистем, накоплению америция-241 как продукта распада плутония-241 и прогнозу радиационной обстановки на XXI век.

### **Ключевые слова**

Чернобыльская АЭС, зона отчуждения, радиоактивное загрязнение, миграция радионуклидов, период полураспада, радиоэкология

### **Цель работы**

Анализ изменения радиоэкологической обстановки в зоне аварии на Чернобыльской АЭС за прошедшие 40 лет и выявление основных тенденций её дальнейшей трансформации с учётом распада короткоживущих изотопов, миграции долгоживущих радионуклидов.

### **Введение**

Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года привела к выбросу в окружающую среду большого количества радиоактивных веществ. По данным учёных в атмосферу поступило порядка 23 различных радионуклидов. В первые годы после катастрофы основную опасность представляли короткоживущие изотопы, однако спустя 40 лет ситуация изменилась. Сегодня радиационную обстановку определяют долгоживущие радионуклиды. Понимание современных процессов и прогноз на будущее необходимы для обоснованного регулирования доступа на загрязнённые территории и разработки мер защиты.

### **Основные тезисы**

На момент аварии общая активность выброса составила около 14 ЭБк. Основные долгоживущие компоненты: Cs-137 – около 85 ПБк, Sr-90 – около 10 ПБк, изотопы плутония – суммарно несколько ПБк. К 2026 году активность Cs-137 снизилась примерно на 60%, Sr-90 – примерно на 62%. Активность Pu-241 уменьшилась более чем на 85%, а образовавшийся Am-241 накопился до уровня, сопоставимого с активностью плутония. В настоящее время Am-241 стал основным дозообразующим радионуклидом среди изотопов трансурановых элементов. Cs-137 прочно фиксируется в верхнем слое почвы и медленно мигрирует вглубь. Он связывается глинистыми минералами, что позволяет ис-

пользовать его как индикатор эрозионных процессов. Sr-90 более подвижен и присутствует преимущественно в водорастворимых формах, что делает его доступным для поступления в речные воды. Плутоний и америций связаны с высокомолекулярными органическими веществами и могут мигрировать с почвенными водами. Особого внимания заслуживает накопление Am-241. Pu-241 является бета-излучателем с периодом полураспада 14,4 года, а образующийся из него Am-241 – альфа-излучатель с периодом полураспада 432,6 года. В момент аварии Am-241 практически отсутствовал, сейчас его активность достигла уровня, при котором он становится основным среди трансурановых элементов. Пик накопления ожидается примерно в 2070-2080 годах. Подвижность америция в экосистемах выше, чем у плутония, что создаёт долговременную радиозэкологическую проблему. Территории, загрязнённые трансурановыми элементами, будут непригодны для хозяйственной деятельности на протяжении многих тысячелетий. Зона отчуждения стала уникальным полигоном для изучения хронического облучения. Исследования показывают, что у земноводных обнаружили устойчивость к радиации. Популяции многих видов животных в зоне отчуждения превышают показатели сопредельных территорий, что связано с прекращением хозяйственной деятельности и охоты.

### **Заключение, результаты или выводы**

За 40 лет радиационная обстановка в зоне отчуждения изменилась: основная опасность перешла от атмосферного загрязнения к долгоживущим радионуклидам в почве. Главным загрязнителем остаётся Cs-137, определяющий внешнее облучение и накопление в пищевых цепочках. Важнейшей тенденцией является рост активности Am-241, пик которого ожидается к 2070-2080 годам. Это требует дополнительных мер защиты для работающих на территории. Миграционная способность радионуклидов различается: Sr-90 более подвижен, плутоний и америций связаны с органикой. Несмотря на загрязнение, экосистемы демонстрируют высокий восстановительный потенциал. Даже после распада Cs-137 и Sr-90 отдельные участки останутся непригодными для проживания из-за трансурановых элементов, но экологическая ценность территории как заповедника будет расти.

### **Список использованной литературы и источников**

1. Опасные радионуклиды / Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – Электронный ресурс. – Режим доступа: [https://en.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl-3d/nature/1\\_3\\_1.htm](https://en.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl-3d/nature/1_3_1.htm)
2. Рыбалко С.И., Проскура Н.И., Пономарев С.Ю. Америций-241 в 30-км зоне ЧАЭС – оценка накопления и качественный прогноз миграции в почвах // Chernobyl'92.
3. Список литературы ЧАЭС / ДСП «Чернобильська АЕС» – Официальный сайт ЧАЭС, раздел «Инфоцентр» → «Новости» → «Литература»



