

Комитет по образованию
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»
*XIX Всероссийской юношеской
научно-практической конференции*
**«БУДУЩЕ СИЛЬНОЙ РОССИИ —
В ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ»**

*9–11 апреля 2025 года
Санкт-Петербург*

Том 1

Санкт-Петербург
2025

Тезисы докладов печатаются в авторской редакции.

*«Будущее сильной России – в высоких технологиях»
сборник тезисов XIX Всероссийской юношеской научно-практической
конференции, ГБНОУ «СПБ ГДТЮ», – СПб, 2025, 12 томов по секциям
Том 1 «Атомные науки и технологии»*

Отпечатано в РИС ГБНОУ «СПБ ГДТЮ». Тираж 38 экз.

*Сборник тезисов работ
участников секции
«Атомные науки и технологии»
XIX 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.

Применение новых материалов и технологий в энергетических системах

Сумина Алина Артемовна

Университетская гимназия МГУ им М.В. Ломоносова

Москва

Научный руководитель – **Юн Эрик Артемович**

Аннотация

Срок эксплуатации атомных электростанций во многом зависит от их безопасности и экологичности. Эту функцию могут обеспечить новые материалы и технологии строительства. Одними из важных компонентов являются конструкционные стали и пьезоэлектрические композиты, придающие высокий КПД системам. В работе будут подробно исследоваться их уникальные свойства.

Ключевые слова

АЭС, пьезоматериалы, конструкционные стали, новые материалы, энергетика

Цель работы

Изучение свойств конструкционных сталей и пьезоэлектрических композитов, их положительного влияния на работу энергетических систем, в частности АЭС.

Введение

В последние десятилетия наблюдается значительный прогресс в области разработки новых материалов, способствующих повышению эффективности энергетических систем. Конструкционные стали, благодаря своим уникальным механическим свойствам и высокой прочности, продолжают оставаться основой для создания надежных и долговечных конструкций. В то же время пьезоэлектрические композиты открывают новые горизонты в области преобразования механической энергии в электрическую, что позволяет значительно улучшить эффективность систем сбора и хранения энергии.

Основные тезисы

Роль новых материалов в снижении углеродного следа и повышении энергоэффективности энергетических систем. Значение конструкционных сталей и пьезоэлектрических композитов в современных технологиях.

Заключение, результаты или выводы

Применение новых материалов и технологий на АЭС способствует повышению эффективности, безопасности и долговечности оборудования, а также снижению воздействия на окружающую среду. Пьезоматериалы обладают пьезоэлектрическими свойствами, что позволяет им генерировать электрический заряд под воздействием механического давления. Конструкционные стали обладают высокой прочностью и пластичностью. Пьезоматериалы используются для преобразования механической энергии в электрическую и в датчиках для мониторинга состояния оборудования, что повышает эффективность и безопасность энергетических установок. Конструкционные стали обеспечивают

прочность и долговечность конструкций, позволяя снижать затраты на строительство и обслуживание.

Список использованной литературы и источников

1. Нестерова Е. Как создание новых материалов закладывает основу для будущего ядерной энергетики [Электронный ресурс] // Е. Нестерова. – Режим доступа: https://www.vedomosti.ru/science/future_technologies/articles/2024/12/03/1078549-sozдание-novih-materialov //
2. Курзина И.А., Демент Т.В., Каракичева Н.И. Композиционные металлические материалы нового поколения для решения задач атомной энергетики // Вестник Томского государственного университета. Химия. Томск, 2017, № 9, С. 77–79.

Способ получения полупроводникового материала на основе наноструктурированных оксидов металлов

Хуранова Аксана Ауесовна

Лицей для одарённых детей ГБОУ «ДАТ «Солнечный город»

Минпросвещения КБР

Нальчик

Научный руководитель – **Куашева Валентина Батиевна**

Аннотация

Работа посвящена низкозатратному способу получения наноструктурированных полупроводниковых материалов на основе оксидов цинка, индия и галлия, которые могут применяться в фотоэлектрических устройствах. Предполагаемый состав можно использовать для улучшения эксплуатационных характеристик светосенсибилизированных солнечных батарей типа ячейки Гретцеля.

Ключевые слова

Полупроводники, синтез оксидов, наноструктурирование, фотоэлектрические солнечные преобразователи

Цель работы

Получение низкозатратным способом полупроводникового материала с улучшенными фотоэлектрическими свойствами на основе наномодифицированных оксидов цинка, индия и галлия.

Введение

Актуальность работы. В современной микроэлектронике большое внимание уделяется разработке новых классов и рецептур полупроводниковых материалов. Инновационные направления в этой области в передовой науке связаны с исследованием широкозонных полупроводников 3 и 4 поколения, таких как оксиды цинка, индия и галлия, которые могут заменить традиционный кремний и расширить диапазоны доступных мощностей и напряжений, а также фотоэлектрические характеристики [1-2]. Среди наиболее перспективных об-

ластей применения подобных материалов исследователи выделяют зарядные системы электромобилей и фотоэлектрические солнечные преобразователи [3]. Одним из методов создания гибридных полупроводников плёнок, содержащих разные оксиды металлов, является высокотемпературный отжиг при температурах около 1000 °С и выше в среде вакуума. Процесс отличается большой трудоёмкостью и требует специального оборудования и используется в высокотехнологичных задачах. [4].

Основные тезисы

Модификация оксида цинка наноструктурированными частицами оксида галлия и индия позволит повысить фотоэлектрические характеристики полупроводников и упростить процесс получения материала. Автором проведены работы. Для синтеза оксида цинка были использованы метод гидротермального разложения и метод химического осаждения из раствора. Для синтеза оксида индия и оксида галлия были получены их нитраты в кипящей концентрированной азотной кислоте [5]. Полученные нитраты металлов далее подвергли разложению при температуре 170-200 °С. Наноструктурирование оксидов металлов проведено методом ультразвукового диспергирования. Полученный полупроводниковый материал был пропитан растительным экстрактом.

Заключение, результаты или выводы

Получены следующие результаты.

1. Предложен низкочастотный способ получения наноструктурированных полупроводниковых материалов на основе оксидов цинка, индия и галлия в соотношении 2:1:2 соответственно.

2. Предложен способ модификации оксида цинка с помощью наноструктурированных частиц оксидов индия и галлия.

3. Модификация наноструктурированными материалами позволила улучшить фотоэлектрические свойства полупроводникового материала на 33%.

4. Предполагаемый состав можно использовать для улучшения эксплуатационных характеристик светосенсибилизированных солнечных батарей типа ячейки Гретцеля.

Список использованной литературы и источников

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики 3 том / ФИЗМАТЛИТ. – Москва: Изд-во МФТИ, 1989. – С. 427. – 656 с. //
2. [Электронный ресурс] – <https://www.powerwaywafer.com/ru/gallium-oxide-semiconductor-material.html> //
3. Е.В. Мараева, Н.В. Пермяков, В.А. Мошников, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»-Особенности применения эвтектических расплавов на основе индия и галлия. Журнал Sensors, поддержанная грантом РФФИ N 21.73 00157 //
4. Патент № RU2 460 166C1, Напольский К.С., Валеев Р.Г., Росляков И.В. – СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР ПОЛУПРОВОДНИКА. //
5. Химическая энциклопедия: в 5 т. / Редкол.: Зефиров Н.С. (гл. ред.). —М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – Т. 5. – С. 378.

Определение растворимости кардиотропных препаратов

Филиппов Захар Андреевич

ГБОУ СОШ № 93

Санкт-Петербург

Научный руководитель – Немчинович Людмила Витальевна

Аннотация

Проведено исследование растворимости популярных кардиотропных препаратов в различных растворителях. Проведена оценка возможности использования основных действующих веществ в препаратах в качестве лигандов для новых кардиотропных препаратов.

Ключевые слова

Ядерная медицина; фармакопея; лиганды; кардиотропные препараты; растворимость

Цель работы

Определение растворимости кардиотропных препаратов в различных растворителях. Оценка возможности использования их в качестве лигандов.

Введение

Очень важны для приема препаратов пациентами знания о растворимости. Препарат легче проникает в растворенном виде в желудочно-кишечный тракт, таким образом, принося более быстрый эффект пациенту, в отличие от мало-растворимых или труднорастворимых препаратов. Также растворимость важна при синтезе новых препаратов при определении лигандов, из которых он будет состоять. Во многом определение растворимости является одним из основных проверяемых пунктов по Государственной Фармакопеи Российской Федерации.

Основные тезисы

Проведено исследование растворимости популярных кардиотропных препаратов в различных растворителях. Определены классы растворимости кардиотропных препаратов согласно Государственной Фармакопеи Российской Федерации.

Заключение, результаты или выводы

Проведена исследовательская работа, в ходе которой выяснено, что кардиотропные препараты прекрасно растворяются в различных растворителях и могут быть использованы в качестве лигандов для новых диагностических кардиотропных радиофармпрепаратов.

Список использованной литературы и источников

1. Государственная Фармакопея Российской Федерации. XII издание. Часть 1, Москва, 2007 г.

Определение строения нового соединения рения для терапевтического направления ядерной медицины

Леонова Ксения Викторовна

ГБОУ СОШ № 93

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Немчинович Людмила Витальевна**

Аннотация

Важность развития ядерной медицины в направлении персонализированной терапии требует постоянного поиска новых соединений с повышенной устойчивостью в биологической среде. Эти соединения должны обеспечивать более эффективное накопление радиофармацевтических препаратов в целевых органах, что повысит точность и эффективность диагностики и лечения. Процесс поиска и синтеза новых веществ включает в себя критическую стадию их характеристики, где важно подтвердить структуру полученного соединения.

Ключевые слова

Ядерная медицина, рений, карбонилы, ИК-спектromетрия

Цель работы

Определение строения нового соединения рения для терапевтического направления ядерной медицины.

Введение

Для того чтобы направление ядерной медицины активно развивалось в направлении персонализированности, необходимо постоянно осуществлять поиск новых соединений, которые будут более устойчивы в биологической среде и в виду этого могут иметь большее накопление в целевом органе. При поиске и синтезе новых соединений очень важным является определение того, какое новое вещество вы получили и подтвердили ли вы его строение.

Основные тезисы

Снят инфракрасный спектр металлоорганического соединения рения. Проведена расшифровка инфракрасного спектра металлоорганического соединения рения. Определены основные функциональные группы на ИК-спектре в этом соединении. Сделано предположение, на основе знания о функциональных группах, перспектив использования в области ядерной медицины.

Заключение, результаты или выводы

Для успешного продвижения ядерной медицины необходимо акцентировать внимание на разработке и валидации новых соединений, обладающих улучшенными фармакокинетическими свойствами. Это откроет новые возможности для создания высокоэффективных терапевтических агентов, улучшая персонализированный подход к лечению заболеваний.

Список использованной литературы и источников

1. «Персонализированная медицина: от концепции к практике» – И.А. Козловская //
2. «Фармакокинетика и фармакодинамика» – Е.В. Зайцев //
3. «Ядерная медицина: основы и практика» – Л.Н. Кочеткова, И.М. Сидоренко //
4. Накамото К. «ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений», М.: Издательство «Мир», 1991, 356 с.

Разработка принципиальной конструкции захвата для роботизированного комплекса, осуществляющего работы по демонтажу графитовых блоков при выводе из эксплуатации реактора РБМК-1000**Салихова Дарина Марсовна**

МБОУ Гимназия № 96

Казань

Научные руководители: **Степанов Михаил Андреевич,****Александров Юрий Борисович, Сидоров Никита Михайлович****Аннотация**

Данная работа направлена на создание захвата для роботизированного комплекса с целью извлечения фрагментированных графитовых блоков из активной зоны реактора РБМК-1000. В ходе работы был проведен анализ существующих решений по демонтажу ядерных реакторов, разработана конструкция захвата, выполнен прочностной расчет. В рамках проекта проведены экспериментальные исследования, 3D-моделирование и испытания прототипа, что определило работоспособность предложенного решения.

Ключевые слова

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

Цель работы

Разработать принципиальную конструкцию захвата для роботизированного комплекса, осуществляющего работы по демонтажу фрагментированных графитовых блоков при выводе из эксплуатации реактора РБМК-1000.

Введение

Жизненный цикл атомных электростанций, построенных на заре отечественной атомной промышленности, на сегодняшний день подходит к концу, следовательно, возрастает проблема вывода из эксплуатации. 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, в которых труд человека невозможен, что тре-

бует применения дистанционно управляемых робототехнических комплексов. Проблемой при демонтаже некоторых уран-графитовых реакторов является неудовлетворительное состояние части графитовых блоков после длительного периода эксплуатации. Некоторые находятся в целостном состоянии, некоторые деформированы вследствие температурно-радиационных условий, что привело к расширению материала и появлению трещин, ввиду возникших напряжений [1]. На данный момент имеется опыт по извлечению цельных графитовых блоков. Конструкция захвата для фрагментированных графитовых блоков не разработана.

Основные тезисы

Были рассмотрены и проанализированы существующие решения по демонтажу конструкций отечественных и зарубежных ядерных реакторов различного типа [1,2]. На основе анализа имеющихся захватов для извлечения целостных графитовых блоков, разработана конструкция для фрагментированных блоков. Проведены расчеты на прочность при различных значениях нагружения в программе КОМПАС-3D (библиотека APM FEM). Детали конструкции прототипа захвата распечатаны на 3D-принтере, создан макет графитового блока и технологический канал с возможностью обзора внутренней части.

Заключение, результаты или выводы

Разработан новый захват, который решает проблему извлечения фрагментированных графитовых блоков. Результаты расчетов на прочность конструкции, а также испытания прототипа захвата показали, что механизм работоспособен. При дальнейшей доработке проекта, захват может быть внедрен в состав роботизированного комплекса при выводе из эксплуатации АЭС с 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.

INTREPID – клещеобразный грейферный захват для автономного подводного аппарата «Пиранья»

Яковлев Андрей Александрович

ГБОУ СОШ № 619

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Петшак Станислав Николаевич**

Аннотация

Проект направлен на создание клещеобразного грейферного захвата для автономного подводного аппарата (АНПА) «Пиранья», предназначенного для решения экологических задач. Устройство позволяет аккуратно собирать образцы грунта и донных отложений для анализа содержания радионуклидов, а в случае аварий, связанных с утечкой радиоактивных или токсичных веществ, захват может быть использован для сбора опасных объектов и предотвращения дальнейшего загрязнения. Захват обладает усилием сжатия до 20 кг/см, тремя позициями клешней и универсальным креплением на планку Пикатинни.

Ключевые слова

Клещеобразный грейферный захват, радиоактивные отходы, мониторинг экосистем

Эпиграф

Технологии, созданные для защиты природы, становятся мостом между прогрессом и будущим нашей планеты.

Цель работы

Разработать и создать прототип клещеобразного грейферного захвата для АНПА «Пиранья», который будет использоваться для сбора образцов грунта, водорослей и мелких организмов, что позволит изучать миграцию радионуклидов в водоемах.

Введение

Радионуклиды и токсичные отходы представляют серьезную угрозу для окружающей среды, особенно для водных экосистем, где их распространение может привести к долгосрочным последствиям для биоразнообразия и здоровья человека. Традиционные методы мониторинга и изоляции радиоактивных отходов часто оказываются недостаточно эффективными, что требует применения современных технологий, таких как подводные автономные роботы с функциональными захватными устройствами. Проект INTREPID направлен на создание универсального клещеобразного грейферного захвата, который может использоваться для сбора образцов грунта и биологических материалов для анализа содержания радионуклидов и изучения их поведения в водной среде. Устройство также позволяет проводить инспекцию подводных хранилищ радиоактивных и токсичных отходов, проверять целостность контейнеров и выполнять профилактические работы для предотвращения утечек. Захват может быть использован для изоляции опасных отходов, их перемещения и упаковки,

что минимизирует риск дальнейшего загрязнения окружающей среды. Кроме того, устройство способствует переработке и вторичному использованию отходов, извлекая из воды и со дна водоемов материалы, пригодные для повторного применения, такие как металлы и пластик. Проект INTREPID не только решает актуальные экологические задачи, но и способствует развитию подводной робототехники, предоставляя новые возможности для научных исследований, образовательных программ.

Основные тезисы

В ходе работы проведен анализ существующих решений, патентный поиск, выбор материалов и технологий, таких как: дейдвудная трубка для герметизации захвата и планка Пикаттини, для обеспечения универсального соединения с подводными роботами. Разработана конструкция захвата с использованием материалов, устойчивых к коррозии, таких как ABS-пластик для корпуса и создана система управления на базе микроконтроллера ESP32, обеспечивающая точное позиционирование клешней и возможность дистанционного управления. Разработаны эскизы прототипа, создана 3D-модель в программе Компас-3D, изготовлены детали прототипа с использованием технологии 3D-печати, выполнена сборка. Проведены предварительные испытания в школьной лаборатории и открытых водоемах, подтвердившие работоспособность устройства.

Заключение, результаты или выводы

Прототип клещеобразного грейферного захвата успешно прошел испытания, доказав свою эффективность в решении экологических задач и станет надежным инструментом для мониторинга водоемов и снижения рисков загрязнения окружающей среды радионуклидами и токсичными отходами.

Список использованной литературы и источников

1. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с. //
2. Большаков В.П. 3D-моделирование в КОМПАС-3D версий V17 и выше: учебное пособие для вузов / В.П. Большаков. – СПб: Питер, 2021. – 256 с. //
3. Борисов, А.А. Подводные роботы: от идеи до реализации / А.А. Борисов. – М.: Техносфера, 2017. – 256 с. //
4. Герасимов, А.В. Самоучитель КОМПАС-3D V23 / А.В. Герасимов. – СПб: БХВ-Петербург, 2025. – 672 с. //
5. Юревич, В.И. Основы робототехники / В.И. Юревич. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 320 с.

Анализ радиационной обстановки в историческом центре Санкт-Петербурга

Годорожа Александр Сергеевич

ГБОУ СОШ № 93

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Немчинович Людмила Витальевна**

Аннотация

Работа направлена на «борьбу с радиофобией». В ходе работы проводится оценка влияния природной радиоактивности гранита на петербуржцев и гостей города. Будут определены участки интереса (места с потенциально повышенными значениями мощности амбиентной дозы гамма-излучения), будет рассмотрено влияние гранитной архитектуры Санкт-Петербурга на радиационный фон.

Ключевые слова

Радиоэкология; радиоактивные изотопы и соединения; гранит; гранитная архитектура Санкт-Петербурга; МАЭД гамма-излучения

Цель работы

Анализ радиационной обстановки в историческом центре Санкт-Петербурга. Оценка влияния на петербуржцев и гостей города.

Введение

При Екатерине II велось масштабное укрепление рек и каналов, чьи берега одевались в гранит. Это не только придавало городу красоту, но и было выгодно экономически, поскольку гранит останавливал размывание берегов. Через 100 лет произошло открытие радиоактивности. В частности, выяснилось, что в граните действительно содержатся радиоактивные элементы и соединения. В его составе есть изотопы урана, тория и калия. Однако считается, что все радиоактивные элементы входят в состав породы в небольших, безвредных для человека количествах. Они практически не влияют на радиационный фон. Давайте проверим, так ли это.

Основные тезисы

Проведен анализ радиационной обстановки в историческом центре Санкт-Петербурга. Определены участки интереса (места с потенциально повышенными значениями мощности амбиентной дозы гамма-излучения (далее – МАЭД)). Проведены измерения МАЭД, сформировано графическое изображение результатов. Проведена оценка влияния на петербуржцев и гостей города путем расчета дозы внешнего облучения.

Заключение, результаты или выводы

Прогулки по исторической части города не представляют опасности для петербуржцев и гостей города с точки зрения радиационного фактора.

Список использованной литературы и источников

1. Нормы радиационной безопасности

Количественное определение перекиси водорода в дезинфицирующих средствах для использования в области атомной энергетики и медицины

Круглова Александра Максимовна

МБОУ «Гимназия» города Обнинск

Обнинск

Научный руководитель – **Грумова Наталья Анатольевна**

Аннотация

Данная работа посвящена определению перекиси водорода в дезинфицирующих средствах. В рамках своего исследования я изучила влияние перекиси водорода на очищаемый ею материал. А также исследовала класс дезинфицирующих веществ, содержащих пероксид водорода, а сфера применения таких веществ очень широка: от медицины до атомной промышленности

Ключевые слова

Перманганатометрия, перекись водорода, атомная промышленность, разложение, титрование, атомная энергетика

Цель работы

Цель проекта заключается в количественном определении содержания пероксида водорода в различных средствах, а также возможность их применения в области атомной энергетики и медицины.

Введение

Пероксид водорода нашел применение в медицине как антисептический, дезодорирующий и кровоостанавливающий препарат. Применяют его для обработки ран, ссадин, царапин, остановки носовых и других небольших капиллярных кровотечений, так как хорошо переносится кожей и слизистыми оболочками, не накапливается в организме при длительном применении. Применение перекиси водорода основано на ее способности разлагаться на воду и активный (атомарный) кислород, способный к окислительным реакциям. Благодаря этому перекись водорода как окислитель обладает особым достоинством, она не загрязняет обрабатываемый материал никакими посторонними продуктами разложения.

Основные тезисы

Основные аспекты применения дезинфицирующих средств в атомной промышленности включают: контроль биологического загрязнения, обеспечение радиационной безопасности, поддержание чистоты оборудования, радиационная стойкость, совместимость с материалами, безопасность для персонала, экологическая безопасность. Широко используются хлорсодержащие соединения и перекись водорода. В системах охлаждения АЭС дезинфицирующие средства должны предотвращать образование биопленок, которые могут ухудшать теплообмен и способствовать коррозии, в бассейнах выдержки отрабо-

тавшего топлива важно контролировать рост микроорганизмов, которые могут накапливать радионуклиды, при дезинфекции помещений и оборудования необходимо учитывать возможность радиационного загрязнения и использовать средства, которые легко удаляются. При этом некоторые дезинфицирующие средства могут взаимодействовать с радионуклидами, образуя опасные соединения. Таким образом, использование дезинфицирующих средств в атомной энергетике требует тщательного подбора реагентов, учета специфики работы АЭС и соблюдения строгих норм безопасности.

Заключение, результаты или выводы

На основании литературных данных для количественного определения перекиси водорода был выбран метод перманганатометрии. С использованием описанного метода проанализировано шесть различных дезинфицирующих средств на основе пероксида водорода. Полученные результаты хорошо согласуются с данными производителя. Использование перекиси водорода в атомной промышленности целесообразно в тех случаях, где важны её экологическая безопасность, эффективность как окислителя и отсутствие вторичных загрязнений.

Список использованной литературы и источников

1. «Неорганическая химия» учебник А.В. Шевелькова, А.А. Дроздова, М.Е. Тамма //
2. Е.И. Данилина, И.В. Иняев «Титриметрический анализ», учебное пособие для лабораторных работ //
3. ГОСТ 177-88 Водорода перекись. Технические условия (переиздание 2006г.)
4. <https://docs.cntd.ru/document/1200107383>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Перманганатометрия>

Радиационный контроль объектов атомной энергии города Севастополя

Стрекозова Маргарита Сергеевна

ГБОУ ЦДО «Малая академия наук» Центр выявления и поддержки одарённых детей города Севастополя «Альтаир», Лицей-предуниверсарий ФГАОУ ВО СевГУ

Севастополь

Научный руководитель – **Черкашина Наталья Игоревна**

Аннотация

Научно-исследовательская работа посвящена проведению радиационного контроля территории «Севастопольский Государственный Университет» вблизи ИР-100. Определена активность в отобранных пробах радионуклидов Cs-137, Sr-90 и проведен анализ полученных с предельно допустимыми значениями.

Ключевые слова

Стронций, цезий, радиационный дозиметрический контроль, мощность дозы.

Цель работы

Оценка радиационной обстановки местности расположения объектов атомной энергии ФГАОУ ВО «Севастопольский Государственный Университет».

Введение

Учитывая нахождение в непосредственной близости с радиационно-опасными объектами объектов инфраструктуры, таких как главный учебный корпус Института ядерной энергии и промышленности, химический корпус, студенческих общежитий, и ввиду отсутствия на данных территориях регулярного радиационного контроля, было принято решение провести замеры уровня гамма-излучения в местах расположения данных административных зданий.

Основные тезисы

В работе были рассмотрены приборы для проведения радиационного контроля; отобраны пробы почвы и приготовлены почвенные растворы. Проведен радиационный контроль территории ФГАОУ ВО «Севастопольский Государственный Университет» вблизи ИР-100. Определена активность в отобранных пробах радионуклидов Cs-137, Sr-90 и проведено сравнение их с предельно допустимыми значениями.

Заключение, результаты или выводы

В результате работы проведены исследования радиационной обстановки, преобладающими оказались фоновые значения МАЭД, то есть во всех точках, где производились замеры, значения выше фоновых не детектировались. Удельная активность исследуемых проб не превышает допустимых норм: – А 137-Cs (ИР-100) = 5,05 Бк/кг, при норме 185 Бк/кг; – А 90-Sr (ИР-100) = 0,8806 Бк/кг, при норме 90 Бк/кг. – А 90-Sr (ИР-100) = 0.8806 Вк/кг, at a rate of 90 Вк/кг. Полученные результаты могут использоваться для радиационного мониторинга и комплексной оценки охраны окружающей среды территорий вблизи исследовательского реактора г. Севастополя.

Список использованной литературы и источников

1. Радиоактивность окружающей среды: лабораторный практикум / сост. В.С. Семенищев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 68 с. //
2. Дозиметры-радиометры МКС АТ-1125, МКС-1125А, Атомтех – URL:<https://atomtex.com/ru/dozimetry-radiometry/dozimetry-radiometry-mks-at1125-mks-at1125a> //
3. МУ 2.6.5.008-2016. Методические указания. «Контроль радиационной обстановки. Общие требования». //
4. А.А. Якушина, М.А. Фролова Анализ радиационной обстановки территории ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» 2022. -102-106.с. //
5. О радиационной безопасности: Федер. закон [принят Гос.Думой 5.12.1995]. // [6] Собрание законодательства РФ 09.01.1996. № 3. ст. 141. С. 8-11.с.

Изучение радиационной обстановки на дезактивированном объекте ул. Шкиперский проток

Царук Никита Игоревич

ГБОУ Гимназия № 642 «Земля и Вселенная»

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Акатов Андрей Андреевич**

Аннотация

С 1951 по 1957 в СССР велись работы по созданию радиологического оружия (также известного как «грязная бомба») в качестве более простой и дешевой альтернативы ядерному оружию. Работы решено было проводить на базе химического НИИ ВМФ и НИИ-17 ВМФ, а главный лабораторный корпус расположился на Васильевском острове по адресу Шкиперский проток 16А в составе военного городка № 6. Впоследствии здесь был выявлен участок радиоактивного загрязнения (УРЗ) № 1360 и выполнена дезактивация очагов загрязнения. По всей видимости, она была недостаточной. Мы провели исследование радиоэкологической обстановки на границах данного объекта в настоящее время. В результате были выявлены признаки радиоактивного загрязнения на прилегающей к УРЗ № 1360 территории.

Ключевые слова

Шкиперский проток, радиационная обстановка, радиоактивное загрязнение, дезактивация, грунт

Эпиграф

Неизвестные беды больше всего тревожат.

Сенека

Цель работы

Оценить радиационную обстановку на территории, прилегающей к участку радиоактивного загрязнения № 1360.

Введение

Первоначально нами были проанализированы все имеющиеся ретроспективные сведения (например, [1-2]), а затем изучено географическое положение участка и проведена разведка на местности. Известно, что в период с 2010 по 2012 годы была выполнена масштабная дезактивация УРЗ № 1360 с вывозом грунта и организацией барьеров против распространения радиоактивного загрязнения. Именно эффективность проведенных мероприятий [3] мы и решили проверить. Во время исследования прилегающей к лабораторному корпусу территории при помощи дозиметрического и радиометрического оборудования было выявлено загрязнение участка бета-излучателями.

Основные тезисы

Нами было проведено дозиметрическое обследование вышеозначенного участка при помощи таких приборов как: АТ 1117М с детекторами БДПБ-01, БДПА-01, БДКГ-11; АТ 1125А; АТ 6130; МКС-07 «Поиск», АТ 6102В. По его результатам локальное загрязнение было выявлено на участке площадью ≈ 16 м², находящемся на полосе грунта и травянистой растительности между железобетонным ограждением и пешеходной дорожкой. Гамма-излучатели на участке не были детектированы как при измерении фона датчиками гамма-излучения на основе сцинтилляционных кристаллов NaI(Tl), применяемых в блоке детектирования БДКГ-11 и приборе АТ 1125А, так и при проведении гамма-спектрометрии на местности прибором АТ6102В с блоком БДКГ-11, альфа-излучатели при контроле блоком детектирования БДПА-01 также не были обнаружены, но исключать их наличие без пробоподготовки образцов и измерения в лабораторных условиях нельзя. Тем не менее, можно отметить, что был выявлен участок, загрязненный бета-излучающими изотопами.

Источниками повышенного уровня бета-излучения оказались побеги растения, позже идентифицированного как свербига восточная, образованный ими субстрат и грунт, находящийся на поверхности.

Пробы были подготовлены и измерены в результате чего выяснилось, что наибольший вклад в активность составляет свербига восточная, а грунт достаточно слабоактивен. Это, возможно, указывает на то, что при проведении дезактивации местами не был до конца извлечён активный грунт или он был недостаточно изолирован, вследствие чего продолжается утечка радиоактивных веществ с территории УРЗ, а обнаруженное загрязнение растений является лишь маркером проблемы.

Заключение, результаты или выводы

На границе с участком радиоактивного заражения было обнаружено загрязнение бета-излучателями (наиболее вероятный изотоп Sr-90 [2]), вызванное накоплением радионуклидов из почвы растением свербига восточная и переходом в поверхностные слои грунта при отмирании побегов данного растения. Обнаруженное загрязнение бета-излучателями не несет угрозы внешнего облучения проходящим поблизости гражданам, но является маркером неполной дезактивации или необеспечения мер по предупреждению распространения радиоактивных веществ. Риск внутреннего облучения тяжело оценить, но он ненулевой из-за ветрового переноса частиц пылицы, отмерших частей растений и грунта. В данном случае активность мала, а потому говорить о серьезных рисках для здоровья граждан нельзя.

Список использованной литературы и источников

1. Тихонов М.Н. Радионуклиды в пространстве Северо-западного региона России: системный взгляд на проблему // Современная медицина, 2003, № 5, С.22-43.
2. Чиркст Д.Э., Литвинова Т.Е., Черемисина О.В., Иванов М.В. Физико-химическое обоснование дезактивации 5-го квартала Васильевского острова Санкт-Петербурга от загрязнения стронцием-90 // Записки Горного института, 2003, Т. 154, С. 32-37.
3. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2013 году / Под ре-

дакцией И.А. Серебрицкого. СПб.: ООО «Единый строительный портал», 2014, С. 66-67. https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2014/11/10/Doklad_2013_2.pdf

4. «Родники Подмосковья»: опыт проведения полевых лагерей / Сост. С.Э. Ермаков. М.: МООО «Экологический союз Подмосковья», Изд-во «Ладога-100», 2006. С. 150-156.

Проблемы хранения и переработки радиоактивных отходов

Алексеева Евгения Сергеевна

МБОУ «Гатчинский лицей № 3»

Гатчина

Научный руководитель – **Иванова Полина Юрьевна**

Аннотация

Цель проекта заключается в исследовании способов переработки ядерных отходов. Особое внимание уделено отходам, которые несут потенциальный вред человеку и экологии, а также те, которые не подлежат утилизации, возможно лишь их захоронение. В работе проведён анализ открытых данных радиационного фона в Ленинградской области, представлены возможные способы переработки отработанного ядерного топлива и других радиоактивных отходов.

Ключевые слова

Радиоактивные отходы, радиация, переработка, повторное использование, захоронение, радиоактивный фон

Цель работы

Исследование способов переработки радиоактивных отходов.

Введение

В наше время ядерная энергия играет значимую роль в решении проблем человечества. Доля атомных электростанций в генерации электроэнергии в России составляет 19%, при этом в стране на данный момент действует 10 АЭС и одна плавучая АЭС нового проекта. Использование излучения радиоактивных изотопов для высокоточного определения злокачественных клеток человека и их уничтожения спасает миллионы жизней во всём мире. Стерилизация ионизирующим излучением активно используется в производстве одноразовых изделий из полимерных материалов, применяющихся в медицине. Однако, многих людей пугает влияние радиации на организм человека и окружающую природу, несмотря на пользу. Наибольший страх представляет собой радиоактивные отходы. Многих беспокоит небезопасность их захоронений и их влияние на природу и человека.

Основные тезисы

В настоящее время разработаны алгоритмы работы с ядерными отходами. В зависимости от их типа применяются следующие техники: рассеивание короткоживущих изотопов в атмосфере и космосе, захоронение отходов в недоступных для людей местах, помещение ядерных отходов в стекло или обогащение особо долгоживущих изотопов до используемых в промышленности изотопов [1]. Помимо уже используемых способов захоронения и переработки радиоактивных отходов, учёные разрабатывают более экологичные и безопасные способы повторного использования и переработки отходов. Российские специалисты создают технологии переработки ОЯТ, такие как MOX и REMIX, позволяющие экономить уран, повышать эффективность энерговыделения и снижать объем радиоактивных отходов. [2] Анализ свободных данных о радиационном фоне в Ленинградской области показывает, что несмотря на близость АЭС и научного центра ПИЯФ, фон находится в норме, однако запасы планеты не бесконечны, следует искать способы более эффективного повторного использования радиоактивных отходов.

Заключение, результаты или выводы

На данный момент не существует эффективного и безопасного способа переработки, хранения и повторного использования ядерных отходов. Однако интернет кишит данными для исследований, это позволит продолжать исследования в этой теме. Наука не стоит на месте и открываются новые способы повторного использования отходов, что даёт надежду на «безотходное» будущее.

Список использованной литературы и источников

1. Канд. Тех. Наук, доц Маркитанова Л.И. Проблемы обезвреживания радиоактивных отходов// статья из Научного журнала НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент» 2015г. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9. С 3.
2. Таранко Е.В. Анализ путей решения экологической проблемы отработавшего ядерного топлива / Е.В. Таранко, З.В. Ковганов ; науч. рук. Н.А. Попкова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2022 г. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого ; под общ. ред. А.А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2022. – С. 172-175.

Радиационно безопасный дом

Малевич Илья Станиславович

МАОУ МО Заречный СОШ №1

Заречный

Научный руководитель – **Хильченко Любовь Михайловна**

Аннотация

В проекте рассматривается проблема влияния радиации на экологию. В теоретической части описывается природа и источники радиации, а также методы утилизации и переработки радиоактивных отходов. В практической части про-

водится исследование вопроса, как дом может служить защитой от радиации, и какие материалы лучше всего для этого использовать. Также была создана 3D-модель дома и разработан буклет.

Ключевые слова

Радиация, доза облучения, антропогенные источники радиации, естественные источники радиации, МОКС-топливо, дозиметр, рекомендации

Эпиграф

Лично я убежден в том, что человечество нуждается в ядерной энергии. Она должна развиваться, но при абсолютных гарантиях безопасности.

Андрей Дмитриевич Сахаров

Цель работы

Создание 3D-модели радиационно безопасного дома и разработка буклета «Как построить радиационно безопасный дом» с рекомендациями по постройке.

Введение

В настоящее время хозяйственная деятельность человека все чаще становится основным источником загрязнения биосферы. Одним из источников воздействующего на здоровье человека загрязнения является ионизирующее излучение. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, житель, особенно городской, проводит в помещении почти 80% времени, получая в нём основную годовую дозу радиации. Является ли наш дом «крепостью» от радиации?

Основные тезисы

Целью нашей работы является: создание 3D-модели радиационно безопасного дома и разработка буклета «Как построить радиационно безопасный дом» с рекомендациями по постройке радиационно безопасного дома.

1) Радиация – это поток энергии в виде корпускулярных частиц (альфа-, бета-частиц, нейтронов) или электромагнитных волн (гамма-излучение), испускаемых радиоактивными материалами. Человек всегда был подвержен действию естественной радиации. Антропогенные источники в основном не создают большой уровень радиационного фона и оставляют радиоактивные отходы, которые надо утилизировать.

2) Измерения радиации, анкетирование людей и исследование результатов с последующими выводами.

3) Архитектурно-планировочное решение и подбор материалов с последующей разработкой плана, 3D-модели дома, а также буклета для помощи в строительстве радиационно безопасного дома.

Результатом проекта стало 3D-модель радиационно безопасного дома и буклет «Как построить радиационно безопасный дом» с рекомендациями по постройке.

Заключение, результаты или выводы

В ходе работы были достигнуты поставленные мной цели. Была создана 3-Dмодель радиационно безопасного дома и, исходя из результатов моего исследования, разработан буклет с рекомендациями по постройке радиационно безопасного дома. В результате проведённого исследования были сделаны следующие выводы:

1. Радиация – это один из многих естественных факторов окружающей среды. Естественный радиационный фон влияет на жизнедеятельность человека, как и все вещества окружающей среды, с которыми организм находится в состоянии непрерывного обмена. Поэтому при оценке опасности облучения крайне важно знать характер и уровни облучения от различных естественных источников излучения.

2. Дополнительное облучение от техногенных источников радиации в глобальных масштабах пока еще невелико. Поэтому в проекте были рассмотрены в основном естественные источники радиации, так как они могут воздействовать на человека с большей силой.

3. Исследования помогли понять, какой из строительных материалов является наиболее экологически чистым: для стен профилированный брус, утеплитель соломит, для крыши гонтовая кровля, для внутренней отделки имитация бруса и доски.

4. Также было выяснено, что радиоактивная угроза при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений может быть связана не только с радоном. Источники радиации могут быть связаны с залеганием урановых руд, антропогенным радиоактивным загрязнением окружающей среды и неизвестного происхождения.

5. Вокруг нас огромное количество опасностей, в том числе радиация. Поэтому при строительстве жилого дома необходимо учитывать основные требования безопасности, соблюдать все нормы, знать особенности местности, на которой вы собираетесь возводить строение, так как дом должен быть «крепостью» во всех отношениях.

Список использованной литературы и источников

1. <https://chaplin-lounge.ru/kakimi-putyami-chelovek-poluchaet-izluchenie/> //
2. <https://domekonom.su/radon-zaschita.html> //
3. <https://m-strana.ru/articles/stroitelstvo-doma-iz-brusa/> //
4. https://studwood.ru/1177632/ekologiya/ekologicheskaya_otsenka_stroitelnyh_materialov_pokazatelyam_radiatsionnoy_bezopasnosti //
5. https://www.o8ode.ru/article/dwater/Purification_of_drinking_water_from_radon

Новые материалы быстрых реакторов IV поколения

Глушков Андрей Владимирович

МАОУ МО Заречный СОШ № 1

Заречный

Научный руководитель – Коптелова Дарина Максимовна

Аннотация

В докладе приведены требования к материалам оболочек твэлов перспективных быстрых реакторов с натриевым теплоносителем. Применяющиеся в настоящее время материалы не имеют достаточного запаса свойств. Рассмотрены подходы создания материалов с требуемыми свойствами.

Ключевые слова

Твэл, оболочка, аустенитные стали, ферритно-мартенситные стали

Эпиграф

Будущее – это не просто место, куда вы отправитесь. Это место, которое вы изобретёте.

Нэнси Дуарте

Цель работы

Изучить подходы к созданию новых материалов активной зоны перспективных быстрых натриевых реакторов.

Введение

В мире сейчас работают всего два промышленных реактора на быстрых нейтронах БН600 и БН800, расположенные в городе Заречный Свердловской области. Ведется разработка реактора 4 поколения БН1200, который будет отличаться более высокими температурными и радиационными параметрами, повышенной экологической безопасностью и эксплуатационной эффективностью [1]. Следовательно, необходимы материалы, которые смогут обеспечить требуемые характеристики. Это металлические и композиционные материалы, отличающиеся повышенной надежностью и стойкостью к воздействию высоких механических нагрузок, температур, радиации и коррозии. В БН-600 твэлы работают 4 года, тогда как ресурс твэла БН1200 запланирован до 10 лет. На сегодняшний день ни один из существующих конструкционных материалов такие дозовые, ресурсные нагрузки не выдерживает.

Основные тезисы

Оболочка тепловыделяющего элемента (твэл) является барьером между ядерным топливом и натриевым теплоносителем и должна сохранять свои рабочие свойства на протяжении всей работы твэла. В современных натриевых реакторах для оболочек твэлов используются аустенитные стали, которые по своей природе имеют склонность к радиационному распуханию [2]. Распухание вызвано смещением атомов из положений равновесия под воздействием

ионизирующего излучения, внедрения продуктов деления в кристаллическую решетку. Следствием распухания является изменение формы и размеров оболочек твэлов, охрупчивание и снижение безопасной эксплуатации. Среди преимуществ этих сталей отмечают их высокую жаропрочность. В результате облучения аустенитных сталей образуются высокоактивные отходы.

Альтернативой являются стали ферритно-мартенситного класса, которые не распухают, не испытывают значительного формоизменения, но обладают недостаточной жаропрочностью при температурах свыше 650 °С.

Взгляд разработчиков материалов сначала обратился на жаропрочный и технологичный ванадий. Но у него есть два существенных недостатка: низкая коррозионная стойкость и ограниченные запасы ванадия на земле, и, как следствие, его дороговизна.

Исследователями во всем мире ведется разработка технологии изготовления дисперсно-упрочненных оксидами сталей [2, 3, 4, 5]. В ферритно-мартенситную сталь вводятся оксиды иттрия, циркония, титана в виде дисперсных частиц размером несколько нанометров, за счет чего достигается многократное повышение длительной прочности (жаропрочности) ферритно-мартенситных сталей. Таким образом, сохраняются свойства нераспухающего материала, который может работать до температуры 750 °С. Параллельно ведется оптимизация макро- и микроэлементного состава материалов с целью минимизации выхода долгоживущих радионуклидов, тем самым сокращая сроки хранения радиоактивных отходов (РАО).

Заключение, результаты или выводы

В результате работы над проектом был проведен анализ информации в сети интернет о перспективных реакторах на быстрых нейтронах, выявлены ключевые преимущества, требующие разработки новых материалов оболочек твэлов. При разработке новых материалов помимо достижения требуемых свойств необходимо проводить оценку технологичности (легкости производства), наличия достаточной сырьевой базы (стоимость и обеспечение на горизонте 100 лет). Немаловажным фактором должно быть уменьшение уровня радиационного воздействия на окружающую среду, минимизация количества РАО и объемов работ, связанных с долгосрочным обращением с РАО.

Список использованной литературы и источников

1. <https://special.kommersant.ru/rtnn/article-4.html> //
2. <https://atomvestnik.ru/2024/10/31/materialy-budushhego/> //
3. <https://www.mdpi.com/2079-4991/14/2/194> //
4. <https://www.imp.uran.ru/?q=ru/content/tehnologiya-polucheniya-dispersno-uprochnennoy-oksidami-radiacionno-stoykoy-stali-s> //
5. https://www.researchgate.net/publication/305252148_Austenitic_Oxide_Dispersion_Strengthened_Steels_A_Review

Методы регистрации заряженных частиц

Шепурева Елизавета Михайловна

ГБОУ СОШ № 103 с углублённым изучением математики

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Лямина Оксана Николаевна**

Аннотация

В рамках проекта рассматриваются различные технологии, включая счетчик Гейгера, камеру Вильсона, фотоэмульсионную камеру, газовые сцинтилляционные детекторы и полупроводниковые детекторы, проводятся наблюдения треков заряженных частиц в упрощённой модели камеры Вильсона.

Ключевые слова

Трек, камера Вильсона, ионизирующее излучение

Эпиграф

Законы физики! О, как они важны. На сложность их бессмысленно сердиться...

Цель работы

Сборка камеры Вильсона в упрощенном виде и наблюдение треков заряженных частиц.

Введение

Методы регистрации заряженных частиц, основанные на процессе ионизации атомов в веществе детектора, играют важную роль в понимании процессов, связанных с заряженными частицами, и позволяют определить их основные характеристики. Особое внимание в проекте уделяется процессу регистрации треков заряженных частиц, что открывает новые горизонты в познании физики элементарных частиц.

Основные тезисы

Понимание принципов работы различных детекторов является основой для успешного проведения экспериментов в области физики и смежных наук, что делает данную тему актуальной и важной для будущих исследований.

Заключение, результаты или выводы

Таким образом, данная работа направлена на изучение методов регистрации заряженных частиц, что позволит не только расширить теоретические знания, но и развить практические навыки работы с оборудованием и физической информацией, способствовать развитию познавательного интереса, более глубокому пониманию физических законов обучающимися.

Список использованной литературы и источников

1. Мякишев Г.Я. Физика. 11 класс: Учебник для общеобразовательных организаций : базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2021, – 432 с.

Накопление трития в системе спектрального регулирования тепловыделяющих сборок водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР)

Кононов Даниил Евгеньевич

ГБОУ СОШ № 47

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Субботин Александр Максимович**

Аннотация

Проект посвящен разработке эффективного метода накопления трития в реакторах ВВЭР путем внедрения лития-6 в систему спектрального регулирования. Предложен подход, минимизирующий влияние на нейтронный баланс и обеспечивающий высокую рентабельность производства. Проведены расчеты, подтверждающие возможность наработки до 128 г трития в год при использовании 10 кг лития-6.

Ключевые слова

Тритий, литий-6, ВВЭР, спектральное регулирование, нейтронный баланс, коррозия

Цель работы

Разработка эффективного метода накопления трития в реакторах ВВЭР для обеспечения стратегической независимости и повышения экологической безопасности.

Введение

Тритий является ключевым изотопом для термоядерной энергетики и космических технологий. Его производство искусственным путем из лития-6 в ядерных реакторах представляет собой наиболее эффективный метод. Однако существующие подходы имеют недостатки, такие как влияние на нейтронный баланс и коррозия материалов. В данной работе предложен метод накопления трития в системе спектрального регулирования ВВЭР, позволяющий минимизировать эти проблемы.

Основные тезисы

Тритий нарабатывается в реакторах ВВЭР путем взаимодействия лития-6 с нейтронами. Внедрение лития-6 в систему спектрального регулирования позволяет минимизировать влияние на нейтронный баланс и повысить эффективность накопления трития. Расчеты показывают, что при использовании 10 кг

лития-6 возможно наработать до 128 г трития в год. Для защиты ТВЭЛов от коррозии и утечек трития предложено использовать покрытия на основе карбида кремния (SiC). Экономический анализ подтверждает высокую рентабельность производства трития: себестоимость составляет 110 000 руб./г при рыночной цене 1 400 000 руб./г.

Заключение, результаты или выводы

Предложенный метод накопления трития в системе спектрального регулирования ВВЭР позволяет значительно увеличить объемы производства, минимизировать влияние на нейтронный баланс и снизить экологические риски. Экономическая выгода делает этот метод перспективным для реализации в промышленных масштабах, укрепляя позиции России на мировом рынке трития.

Список использованной литературы и источников

1. Атомный вестник: Тритий не лишний URL: <https://atomvestnik.ru/2021/02/25/tritij-ne-lishnij/> //
2. Atomic Expert: Изотопы: без них никуда Библиотека URL: https://atomicexpert.com/isotopes_nowhere_without_them/ //
3. Росатом история: Первый реактор ВВЭР. URL: <https://www.biblioatom.ru/archivements/pervyj-reaktor-vver/> //
4. CyberLeninka. О радиационной опасности трития, нарабатываемого на АЭС. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-radiacionnoy-opasnosti-tritiya-narabatyvaemogo-na-aes/viewer/> //
5. AtomInfo. Все о тритии. URL: <http://www.atominfo.ru/newsz02/a0128.htm>

Исследование влияния органических растворителей на полиморфизм при производстве воспроизведенных лекарственных препаратов

Калякин Сергей Дмитриевич

МБОУ «Лицей «Физико-техническая школа»

Обнинск

Научный руководитель – **Булаш Оксана Владимировна**

Аннотация

Данная экспериментальная работа посвящена исследованию влияния органических растворителей на полиморфизм при производстве воспроизведенных лекарственных препаратов. Тема сейчас очень актуальна, поскольку вследствие введения антироссийских санкций, которые затронули различные секторы экономики, включая здравоохранение, и уходом многих международных фармацевтических компаний с российского рынка, возникла острая нехватка готовых лекарственных средств и активных фармацевтических субстанций необходимых для производства медикаментов внутри страны.

Ключевые слова

Дженерик, воспроизведенный лекарственный препарат, полиморфизм, органический растворитель, деферазинокс, эксиджад

Цель работы

Оценка влияния органических растворителей на получение лекарственных средств с нужной полиморфной формой.

Введение

В современном мире проблема нехватки лекарственных препаратов становится всё более актуальной. Это явление затрагивает как развивающиеся, так и развитые страны, создавая серьёзные проблемы для систем здравоохранения. Особую тревогу вызывает нехватка жизненно важных препаратов, таких как антибиотики, лекарства для лечения хронических заболеваний или редких болезней. В некоторых случаях пациенты вынуждены искать альтернативные методы лечения или переплачивать за аналогичные препараты, что создаёт дополнительную финансовую нагрузку. Кроме того, дефицит лекарств может привести к росту нелегального рынка, где качество и безопасность продукции не гарантированы. Решение этой проблемы требует комплексного подхода, включая улучшение логистики, поддержку местного производства и международное сотрудничество.

Основные тезисы

Для получения деферазинокса с нужной полиморфной формой, была проведена оценка патента для выявления подходящих органических растворителей. Выбранные растворители применялись в процессе перекристаллизации, а для подтверждения полиморфной формы, а также доказательства кристаллической структуры использовались такие методы, как растворение, температура плавления, рентгенодифракционный анализ (РД), инфракрасный спектр, ¹H-ЯМР, масс спектр фармацевтической субстанции. Также для доказательства получения именно полиморфной формы I в ходе эксперимента использовались такие методы как: капиллярный метод и метод перекристаллизации. По итогу выполнения экспериментальной части исследовательской работы, удалось получить деферазинокс с полиморфной формой I, который по своим свойствам практически не отличается от оригинального лекарственного препарата эксиджада.

Заключение, результаты или выводы

В ходе проведенной работы был получен лекарственный препарат деферазинокс конкретной полиморфной формы I, которая в результате проведенной работы стабильно получается только при перекристаллизации в метаноле. Показано, что выбранный растворитель (метанол) более выгоден в промышленном производстве в связи с 90% выходом реакции. В ходе проведенной работы доказана неэффективность использования других органических растворителей для данного лекарственного препарата.

Список использованной литературы и источников

1. https://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2659034&TypeFile=html //
2. <https://www.mic.by> //
3. <https://pharmacopoeia.ru> //
4. Монография «Стандартизация фармацевтических субстанций и препаратов в лекарственной форме «таблетки», автор Ковалева. Е.Л. 2012 г. //
5. https://spravochnick.ru/medicina/polimorfizm_lekarstvennyh_veschestv_i_ego_ispolzovanie_v_tehnologii_lekarstv/

Gluvi (Глюви) – умное устройство для диабетиков, вдохновлённое атомной наукой**Белейчев Иван Алексеевич**

ОГАОУ «Лицей ядерных технологий» при НИЯУ МИФИ»

Димитровград

Научный руководитель – **Правдин Евгений Александрович**

Аннотация

Современная медицина, как и атомная наука, требует высокой точности и надёжности. Gluvi – устройство вдохновлённое принципами атомной промышленности, обеспечивающее стерильное хранение инсулина, контроль температуры и напоминания о приёме. Оно использует автоматизированные системы, аналогичные технологиям регулирования в атомной энергетике, чтобы минимизировать риски для пациента. Компактность, сенсорная подсветка и питание от USB Type-C 5 В делают его удобным и универсальным.

Ключевые слова

Атомная наука, диабет, компактность, умное устройство, медицина

Эпиграф

Будущее – за технологиями, что обеспечивают стабильность и контроль.

Цель работы

Разработать устройство, обеспечивающее надёжное хранение инсулина, контроль времени приёма пищи и упрощённую систему утилизации расходных материалов, что снижает медицинские риски и повышает качество жизни пациентов.

Введение

Диабет 1 типа требует строгого соблюдения режима инсулинотерапии. Нарушение температуры хранения или пропуск инъекций могут привести к тяжёлым осложнениям. Gluvi использует принципы атомной науки: стабилизирует условия хранения инсулина, напоминает о приёме и обеспечивает стерильность. Охлаждающий отсек поддерживает температуру +2°C...+8°C, исключая деградацию препарата. Устройство работает от USB Type-C 5 В и оснащено сенсорной подсветкой.

Основные тезисы

Устройство для хранения и охлаждения инсулина использует принцип термостабильности, аналогичный системам охлаждения ядерных реакторов. Устройство поддерживает температуру $+2^{\circ}\text{C} \dots +8^{\circ}\text{C}$ для предотвращения деградации инсулина. Надёжная изоляция исключает влияние внешних факторов, аналогично защитным контурам в атомной энергетике. Система напоминаний и автоматизированный контроль времени инъекций действуют аналогично системам дозирования топлива в реакторах. Использование световых и звуковых сигналов повышает точность соблюдения режима. Безопасность и автономность: работает как от сети, так и от резервного источника питания, подобно системам аварийного электроснабжения на АЭС. Встроенный контейнер для использованных шприцев обеспечивает экологичность и защищённость пользователей.

Заключение, результаты или выводы

Как атомная наука обеспечивает контроль над энергией, так Gluvi делает инсулинотерапию надёжной и предсказуемой. Стерильное хранение, автоматизация и удобный интерфейс повышают качество жизни пациентов. Перспективы развития включают интеграцию с медицинскими системами.

Список использованной литературы и источников

1. Ханас Р. Диабет 1 типа у детей, подростков и молодых людей. М.: Практика, 2021. //
2. World Health Organization. Diabetes Fact Sheet. WHO, 2023. //
3. American Diabetes Association. Standards of Medical Care in Diabetes – 2024. Diabetes Care, 2024. //
4. Mayo Clinic. Insulin Storage and Safety Tips. Mayo Clinic, 2023. //
5. Международная федерация диабета. Руководство по инсулинотерапии. IDF, 2023.

Математическое моделирование и оптимизация режимов ветроэлектростанции с различными ветровыми условиями на генераторах

Волков Иван Андреевич

ГБОУ ЦДО «Малая академия наук» Центр выявления и поддержки одарённых детей города Севастополя «Альтаир», ГБОУ «СОШ № 38»
Севастополь

Научные руководители: **Канов Лев Николаевич, Ляшко Елена Тимофеевна**

Аннотация

Научно-исследовательская работа посвящена математическому моделированию и оптимизации режимов работы ветроэлектростанции (ВЭС) с учетом различных ветровых условий. Разработана математическая модель ВЭС с двумя генераторами и метод стабилизации их работы через регулирование балластной нагрузки. Определены параметры резистивных и емкостных нагрузок для под-

держания стабильности выходного напряжения. Установлены закономерности изменения балластной нагрузки в зависимости от скорости ветра и потребляемой электроэнергии.

Ключевые слова

Математическое моделирование, оптимизация режимов, ветроэлектростанция, балластная нагрузка, генератор, скорость ветра, потребляемая электроэнергия

Цель работы

Построить математическую модель ВЭС, состоящей из двух генераторов и стабилизировать режимы их работы в различных ветровых условиях путем изменения балластной нагрузки.

Введение

Ветроэлектрическая станция (ВЭС) состоит из нескольких электрогенераторов, вырабатывающих электроэнергию на общую нагрузку. Распределенное расположение генераторов ВЭС на местности обуславливает их индивидуальные ветровые условия. Взаимное влияние отдельных генераторов зависит от их расстояний до нагрузки, параметров нагрузки и от протяженности силовых кабелей. Актуальным вопросом является оптимизация режимов ВЭС для обеспечения стабильной частоты и величины вырабатываемого напряжения.

Основные тезисы

В работе предложен способ стабилизации режимов ветроэлектростанции, состоящей из двух генераторов переменного напряжения, работающих на общую нагрузку в различных ветровых условиях. Метод основан на численном решении уравнений электрической части системы и аппроксимации электродвижущих сил генераторов по сопротивлению нагрузки и скоростям вращения ветротурбин. Для стабилизации частоты и величины выходного напряжения определены оптимальные значения емкостной и балластной проводимостей при изменениях скорости ветра и сопротивления нагрузки.

Заключение, результаты или выводы

В работе исследованы характеристики стабилизации режимов ветроэлектростанции, состоящей из двух генераторов переменного напряжения, работающих на общую нагрузку в различных ветровых условиях. Оптимальные значения емкостной и балластной проводимостей определены с учетом изменения скорости ветра и сопротивления нагрузки. Полученные данные подтверждают, что стабилизация частоты и величины выходного напряжения достигается при увеличении емкостной и балластной проводимостей с ростом скорости вращения ветротурбин. При увеличении сопротивления нагрузки балластная проводимость возрастает, а емкостная – уменьшается. Максимальная эффективность метода обеспечивается предварительным численным решением уравнений электрической части системы и аппроксимацией электродвижущих сил генераторов.

Список использованной литературы и источников

1. Баранов Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии. М.: Издат. дом МЭИ, 2012. – 132 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Т.1. Электрические цепи. – М.: изд-во «Юрайт», 2012. – 701 с.
3. Касаткин А.С. Электротехника. / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высшая школа, 2002. – 542 с.
4. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн.2. Ветроэнергетика. / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Харьков: ХАИ, 2004. – 519 с.
5. Сафонов В.А. Специальные вопросы возобновляемой энергетики. Севастополь: Изд-во «Колорит», 2017. – 92 с.

Исследование наличия β -и γ - радиоактивных изотопов в современных отделочных материалах**Капинос София Олеговна**

ГБОУ СОШ № 493

Санкт-Петербург

Научные руководители: **Живицкая Лина Романовна,****Петряшова Ирина Александровна****Аннотация**

Данная работа посвящена изучению наличия β -и γ - радиоактивных изотопов в напольном покрытии «кварц-винил» и безопасности его использования в ремонтных работах.

Ключевые слова

Радиоактивные изотопы, кварц-винил, гамма и бета излучение

Цель работы

Целью данной работы стало исследование наличия β -и γ - радиоактивных изотопов в напольном покрытии «кварц-винил».

Введение

«Кварц-винил» – это сравнительно новый тип современных отделочных материалов, которые получили большое применение в быту, например, для покрытия пола или облицовки стен. В состав помимо натурального кварца входят различные молекулярные пластификаторы, пигменты на основе натуральных компонентов, придающие окрас, а также стабилизаторы и смазывающие вещества. Популярность материал приобрёл благодаря отличным эстетическим показателям и простоте монтажа. Однако наряду с удобством использования данного материала встает вопрос о его безопасности. К сожалению, очень часто новые типы материалов становятся источником опасных для здоровья человека излучений: бета-, альфа- и гамма-. Данная работа актуальна, так как в современном мире появляется все больше различных удобных и красивых материалов,

но наряду с этим очень часто появляется необходимость в изучении их безопасности для жизни и здоровья человека.

Основные тезисы

Для достижения поставленной цели было принято решение о проведении эксперимента на базе РГПУ им. А.И. Герцена. Предполагаемый источник излучения помещается в свинцовый домик, из которого выходит направленный пучок γ –квантов или β -частиц, проходящих на пути к детектору через исследуемый поглотитель. Свинцовый коллиматор К- предназначен для того, чтобы ограничить попадание на счётчик частиц, рассеянных поглотителем и защитой. Для проведения эксперимента были выбраны два образца кварц-винилового покрытия с различным типом крепления. Данные образцы изучались с двух сторон, что связано со слоистой структурой покрытия. Размер образцов: 3,5х3,5 см. Цвет: «бежевое дерево». Обозначение: О1 – образец замкового покрытия, О2 – образец клеевого покрытия. Также был проведен анализ естественного фона в лаборатории для сравнения с полученными результатами. Среднее значение естественного радиоактивного фона с учетом погрешности: $N/t \phi(\beta) = (0,35 \pm 0.10)$ Бк $N/t \phi(\gamma) = (0,56 \pm 0.10)$ Бк

Заключение, результаты или выводы

В ходе анализа полученных результатов было выявлено, что в образцах отсутствует избыточная радиоактивность. Однако наблюдалось небольшое превышение значений при изучении образцов клеевого покрытия. Данное превышение может быть признаком нахождения бета-радиоактивных и гамма-радиоактивных изотопов в одном из внутренних слоев покрытия, излучение которых может поглощаться верхними слоями. Стоит отметить, что выбран статистический метод оценки вероятностного процесса и 5 измерений может быть недостаточно для достоверной оценки наличия в образце радиоактивных изотопов. Это также может в свою очередь объяснять незначительное превышение значений естественного фона. Подводя итог, в результате исследования цель и задачи были достигнуты, однако гипотеза о наличии радиоактивных изотопов в напольном покрытии не была однозначно подтверждена или опровергнута. В заключении, стоит отметить, что хоть и не большое, но все-таки превышение значений наблюдалось исключительно в образце клеевого покрытия, оно требует более детального исследования с целью изучения безопасности его применения. В свою очередь замковое покрытие не продемонстрировало превышений и может быть полностью рекомендовано к использованию в ремонтных работах. На данный момент рассматривается вариант о продолжении данной работы с целью более детального и обширного изучения клеевого кварц-винила на предмет наличия в различных его слоях радиоактивных изотопов.

Список использованной литературы и источников

1. Иапкин В.В. Физика ядра. Методическая разработка к лабораторным занятиям / В.В. Иапкин – Ленинград.: РТП ЛГПИ им. А.И. Герцена, 1975. -109с. [
2. Типы кварц-винила – замковый и клеевой / Электронный ресурс: сайт. – URL: https://finefloor.ru/articles/typy_kvarts_vinila_zamkovyy_i_kleevoy/ (Дата обращения 10.09.2023). –Режим доступа: свободный. –Текст: электронный.

Прогнозирование на основании данных экомониторинга разливов опасных веществ

Мясников Степан Олегович

МБОУДО «ЦРТ»

Сосновый Бор

Научный руководитель – **Жуков Владислав Константинович**

Аннотация

Данная система поможет определить и локализовать источник водного загрязнения, а также провести дальнейший анализ разлива с помощью ГИС-систем

Ключевые слова

ГИС, глубокие нейронные сети, обучение модели, экомониторинг водных объектов

Цель работы

Разработать автоматизированную систему прогнозирования разливов опасных веществ на основе анализа изображений, способную оперативно идентифицировать разливы и предоставлять точные предсказания для минимизации экологических последствий.

Введение

В условиях роста промышленной активности и изменения климата разливы опасных веществ становятся все более частыми и разрушительными. Своевременное обнаружение и прогнозирование таких инцидентов критически важно для защиты экосистем и здоровья человека, что делает данный проект актуальным.

Основные тезисы

В условиях роста промышленной активности и изменения климата разливы опасных веществ становятся всё более частыми, что делает важным своевременное их обнаружение. Целью исследования является разработка автоматизированной системы прогнозирования разливов опасных веществ на основе анализа изображений, способную оперативно идентифицировать разливы и предоставлять точные предсказания для минимизации экологических последствий. В рамках проекта была разработана и обучена модель глубокого обучения для обнаружения разливов опасных веществ на основе анализа изображений. Для достижения высокой точности классификации использовалась предобученная архитектура ResNet18, адаптированная под специфическую задачу классификации разливов нефти и других токсичных материалов. Применение техники переноса обучения (transfer learning) позволило значительно сократить время обучения модели и повысить её эффективность, особенно при ограниченном объёме специализированных данных. В ходе проекта была успешно разработана и обучена модель глубокого обучения для обнаружения разливов опасных веществ, достигшая точности 85% на сложных изображениях. Также создано минималистичное приложение на Tkinter, позволяющее оперативно загружать и анализировать фотографии.

Заключение, результаты или выводы

В ходе проекта была успешно разработана и обучена модель глубокого обучения для обнаружения разливов опасных веществ, достигшая точности 85% на сложных изображениях. Также создано минималистичное приложение на Tkinter, позволяющее оперативно загружать и анализировать фотографии. В настоящее время ведутся исследования по интеграции модели с российской геоинформационной системой «НАША ГИС», что позволит объединять данные с коптеров для комплексного мониторинга экологических рисков.

Список использованной литературы и источников

1. НАША ГИС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nashagis.ru/> – Дата обращения: 25.04.2024. //
2. Сайфутдинов А.В. Сверточные нейронные сети для решения задач компьютерного зрения // Universum: технические науки: электронный научный журнал. – 2023. – № 10 (115). – DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16127. //
3. Кудряшов В.С. Роль импортозамещения в экономике России // Экономика и бизнес. – 2023. – № 10 (115). – С. 34-49. //
4. Аёшин И.Т., Ендаков Н.В. Практика применения надводных дронов для проведения анализа уровня загрязнений водоемов. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2023. – 20 с. //
5. Chollet F. Deep Learning with Python. – Англия: М. Hille, 2017. – 384 с. – ISBN 9781617294433.

Создание рабочего макета ядерного реактора

Рябов Артем Евгеньевич

ГБОУ ИТШ № 777

Санкт-Петербург

Научный руководитель – **Дзюба Никита Павлович**

Аннотация

Данная работа представляет собой проект по созданию работающего макета ядерного реактора, выполненный учеником 10 класса. Макет не использует ядерное топливо и моделирует физические процессы, а не реальную ядерную реакцию. Сам макет состоит из реактора с жидким оловом в качестве топлива, по контуру которого течет жидкое горячее олово, и емкости, где вода преобразуется в пар и раскручивает турбину, которая, в свою очередь, вырабатывает энергию.

Ключевые слова

Макет, реактор, теплота, разработка, сборка, парообразование, энергия

Цель работы

Создание образовательной и интерактивной модели, демонстрирующей концепцию ядерного реактора без использования ядерного топлива, для на-

глядного изучения физических процессов, связанных с работой реактора и стимулирования инновационного мышления в области энергетики среди студентов и школьников.

Введение

Ядерная энергетика играет значительную роль в мировой энергетической системе, обеспечивая электроэнергией миллионы людей. Понимание принципов работы ядерных реакторов является ключом к развитию безопасных и эффективных технологий, а также к оценке их воздействия на окружающую среду. Данный проект направлен на создание функционального макета ядерного реактора, который позволит наглядно демонстрировать основные физические процессы, лежащие в основе работы реальных реакторов, и продемонстрировать важность контроля за цепной реакцией. Этот макет будет использоваться в образовательных целях, позволяя изучить сложные концепции ядерной физики в доступной и интерактивной форме. Проект фокусируется на визуализации и моделировании физических процессов, происходящих в гипотетическом ядерном реакторе, с целью образовательной демонстрации принципов работы и стимулирования инновационного мышления в области энергетики. Акцент сделан на использовании безопасных и доступных материалов, а также на разработке интерактивного интерфейса для управления и контроля работы макета.

Основные тезисы

1. Цель проекта

Разработка безопасного образовательного макета ядерного реактора, который визуализирует физические процессы (теплопередачу, парообразование, генерацию энергии) без использования ядерных материалов. Проект направлен на популяризацию знаний о ядерной энергетике и стимулирование инновационного мышления среди учащихся.

2. Безопасность и доступность

Макет исключает применение радиоактивных компонентов. Вместо ядерного топлива используется жидкое олово, имитирующее нагрев активной зоны. Все материалы подобраны с учётом доступности и соответствия требованиям безопасности.

3. Конструкция макета

- Реакторный блок: резервуар с жидким оловом, нагреваемым электрическими элементами для моделирования тепловыделения.
- Теплообменный контур: система труб, по которым горячее олово передаёт тепло воде.
- Парогенератор и турбина: преобразование тепловой энергии в механическую за счёт парообразования и вращения турбины, подключённой к генератору.

4. Интерактивность и образовательный компонент

Макет оснащён датчиками температуры и давления, а также системой управления, позволяющей учащимся регулировать параметры (например, скорость теплоносителя). Это обеспечивает наглядное изучение:

- Принципа теплопередачи в реакторе.
- Роли теплоносителя в энергетических системах.

- Преобразования энергии (тепловая – механическая – электрическая).

5. Практическая значимость

Проект демонстрирует, как инженерные решения могут имитировать сложные физические процессы. Он служит инструментом для:

- Углублённого изучения термодинамики и энергетики в рамках школьной программы.
- Формирования критического мышления о преимуществах и рисках атомной энергетики.
- Вдохновения учащихся на разработку экологически устойчивых технологий.

Заключение, результаты

Созданный макет концептуального ядерного реактора представляет собой инновационный образовательный инструмент, который способствует более глубокому пониманию принципов работы ядерной энергетики, стимулирует интерес к науке и технологиям, а также формирует навыки, необходимые для работы в современной инженерной сфере. Проект подчеркивает важность поиска безопасных, устойчивых и экологически чистых энергетических решений для будущего.

Список использованной литературы и источников

1. Ядерный реактор. Принцип его работы: Ядерный реактор – принцип работы, устройство, схема
2. Строение АЭС: Ядерный реактор для чайников: замыкание топливного цикла в двухкомпонентной ядерной энергетике / Хабр
3. Термоядерная энергетика: Ядерный реактор оказался мощнее Солнечного Ядра | Кочетов Алексей | Дзен

