

УДК 539.1.047

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА
ENVIRONMENTAL SAFETY OF NUCLEAR FUEL**

А.А. Шкурко, А.Д. Касатов

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,

И.А. Некало, преподаватель-стажёр

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, nekalo@bntu.by

A. Shkurko, A. Kasatov

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, I. Nekalo, Trainee Teacher

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье поднимаются вопросы безопасности ядерных реакторов и управление удалением ядерных отходов. Целью статьи является образование понимания необходимости более качественного контролирования утилизации ядерных отходов. В статье изучены современные технологии и разработки в области хранения и утилизации отработанного ядерного топлива и выявлены их достоинства. Также предложен новый, стабильный тип изотопа плутония, в качестве ядерного топлива.

Annotation: This article raises the issues of nuclear reactor safety and management of nuclear waste disposal. The purpose of the article is to create an understanding of the need for better control of nuclear waste disposal. The article examines modern technologies and developments in the field of storage and disposal of spent nuclear fuel and identifies their advantages. A new, stable type of plutonium isotope is also proposed as a nuclear fuel.

Ключевые слова: ядерное топливо, отходы, безопасность, плутоний.

Keywords: nuclear fuel, waste, safety, plutonium.

Введение

После аварии на японской АЭС "Фукусима-дайити" в марте 2011 года правительство Германии приняло решение об отказе от производства атомной энергии в течении до 10 лет. Согласно этому решению в 2022 году последний реактор должен быть отключен от энергосистемы.

В настоящее время исследования в области ядерной энергии в Германии проводятся в исследовательских центрах и 32 университетах.

Ниже приводится обзор некоторых моментов текущей деятельности трех исследовательских центров в Карлсруэ (технологический институт Карлсруэ KIT, до недавнего времени FZK Фридрициана), Юлихе FZJ (Юлихский исследовательский центр) и Дрезден-Россендорфе (FZD).

Технологический институт Карлсруэ (KIT) был образован 1 октября 2009 года в результате слияния исследовательского центра Карлсруэ (FZK) и университета Карлсруэ. Для данной статьи наибольший интерес представляет энергетический центр KIT (KIT Energy Research) и тема «Исследования ядерной безопасности».

Основная часть

Управление радиоактивными отходами, безопасность ядерных реакторов и радиационные исследования являются важнейшими аспектами социальных исследований. Они являются неотъемлемой частью международных исследований в области ядерной безопасности и способствуют высоким стандартам безопасности на немецких и европейских ядерных объектах.

Удаление радиоактивных отходов. Эта тема включает в себя фундаментальные и прикладные исследования по всем геохимическим вопросам, связанным с безопасной утилизацией радиоактивных отходов в геологических образованиях. Цель состоит в том, чтобы развить базовое понимание процессов, происходящих в системе репозитория. Дальнейшая работа посвящена выводу из эксплуатации ядерных установок, а также обработке и кондиционированию образующихся радиоактивных отходов. Исследования радиационной защиты также связаны с разработкой процедур личной идентификации доз облучения.

Безопасность ядерных реакторов. Работа сосредоточена на аспектах безопасности в случае неудачи, которая выходит за рамки проектирования и дизайна. Разработка научных знаний осуществляется на основе тесной интеграции экспериментов и разработки моделей и интегрирована в национальные и международные сети и сотрудничество. Крупномасштабные испытательные объекты представляют собой уникальную инфраструктуру и опыт, которые пользуются международным спросом. В этой теме исследования также рассматриваются радиологические последствия ядерных аварий и пути улучшения внешней защиты от чрезвычайных ситуаций [1].

Проект NaMaSK. Целью проекта KIT «NaMaSK» (влажный скрининг и магнитное разделение зерновых смесей для минимизации вторичных отходов при выводе из эксплуатации атомных электростанций) является выборочное отделение отходной смеси от разреза WASS (подвеска от воды, неактивные абразивные частицы и стальные частицы радиоактивной стали).

Методом дезавуирования сосуда давления реактора и его фитингов является водоабразивный процесс резки подвески (WASS), в котором материал разрезается специальной струей воды высокого давления. Этот процесс предлагает много технических преимуществ, но он имеет серьезный недостаток, поскольку он производит дополнительные вторичные отходы. Из-за примеси абразивных отходов смесь неактивных абразивных частиц и радиоактивного режущей совместного материала производится нейтронной активацией при резке стальных компонентов при демонтаже атомных электростанций. Таким образом, количество вторичных отходов является значительным.

Радиоактивного режущей совместного материала, производимого нейтронной активацией, планируется 50 – 75%, отходы сначала проверяются, затем тонкая фракция фильтруется, а грубая фракция, сохраняемая в сито, обрабатывается магнитным фильтром. Процесс скрининга и магнитное разделение стальных частиц создают выбранный абразив, который может быть

подан обратно в систему WASS для нового разреза. На рисунке 1 показаны тестовая настройка и схема процесса.

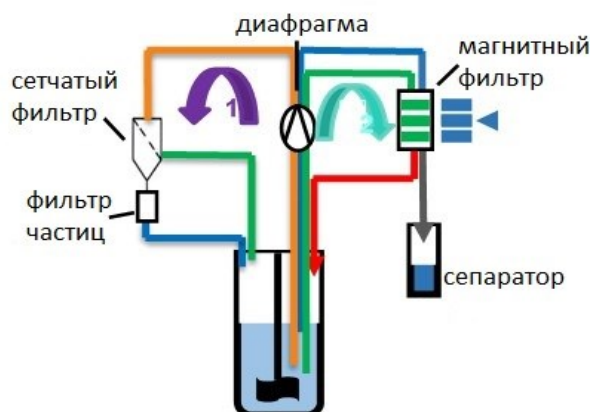


Рисунок 1 – Схема процесса очистки

Юлихский исследовательский центр (нем. Forschungszentrum Jülich GmbH) – один из крупнейших европейских исследовательских центров, входит в состав объединения имени Гельмгольца. Расположен в городе Юлихе, Германия. Основными научными направлениями центра являются физика, химия, биология и медицина.

Nuclear Physics Institute (IKP) (Институт ядерной физики является одним из подразделений Юлихского исследовательского центра и проводит фундаментальные исследования в области ядерной и элементарной физики элементарных частиц. Поскольку ядерные реакторы закрыты и запрещены к использованию, ученые активно используют токамак TEXTOR для термоядерных исследований и ускоритель COSY.

Токама́к (тороидальная камера магнитными катушками) – тороидальная установка для магнитного удержания плазмы с целью достижения условий, необходимых для протекания управляемого термоядерного синтеза. Плазма в токамаке удерживается не стенками камеры, которые не способны выдержать необходимую для термоядерных реакций температуру, а специально создаваемым комбинированным магнитным полем – тороидальным внешним и полоидальным полем тока, протекающего по плазменному шнуру. По сравнению с другими установками, использующими магнитное поле для удержания плазмы, использование электрического тока является главной особенностью токамака. Ток в плазме обеспечивает разогрев плазмы и удержание равновесия плазменного шнура в вакуумной камере.

Ускоритель COSY (Cooler Synchrotron) – это ускоритель частиц (синхротрон) и накопительное кольцо (окружность: 184 м) для ускорения протонов и дейтронов методом гомоядерной корреляционной спектроскопии. Максимальная проектная энергия протонов (кинетическая) настоящее время доведена до 2.83 ГэВ, что немного выше порога рождения ϕ -мезонов в протон-протонных столкновениях. Ускоритель способен ускорять дейтроны, а также обеспечить ускорение поляризованных протонов. COSY ориентирован на

работу с внутренними мишенями, в том числе – струйными мишенями с атомными пучками поляризованных протонов и дейтронов.

Центр им. Гельмгольца Дрезден-Россендорф (нем. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) – научно-исследовательский центр, расположенный в Дрездене (Германия). С 1 января 2011 года входит в объединение имени Гельмгольца немецких научно-исследовательских институтов. Одним из направлений исследований центра является безопасное управление ядерными отходами.

Научно-исследовательские и опытные исследования сосредоточены на оценке и снижении рисков, связанных с ядерным топливным циклом, в частности удалением ядерных отходов и производством энергии на атомных электростанциях. Работа в этой программе затрагивает две темы:

1. Управление ядерными отходами.

Основная цель заключается в более четком понимании фундаментальных процессов, определяющих транспортировку и накопление радиотоксических элементов в геосфере и биосфере, включая пищевую цепочку. Исследования затрагивают молекулярный масштаб водных систем, пород и почв, а также на стыке геосистем и биосистем. Это касается областей спектроскопической идентификации и характеристики химических видов, разработки и применения химико-физических моделей от молекулярной до метровой шкалы, а также определения и оценки термодинамических, кинетических и транспортных параметров для таких моделей. Кроме того, изучается влияние биоты, начиная от бактерий и до высших многоклеточных организмов, на процесс миграции.

2. Безопасность реактора.

Исследование фокусируется на аспектах безопасности современных и будущих реакторов для консультирования госуправления и эффективного влияния на международные стандарты и практику безопасности. Основной предмет изучения - разработка методов анализа потенциальных и реальных аварий.

Экспериментальные работы показывают, как облучение индуцированных повреждения реакторных материалов в масштабе нанометра влияет на механические свойства и безопасность компонентов ядерного реактора.

В 2019 году группа ученых HZDR обнаружила совершенно новую стабильную форму плутония [2]. Плутоний, крайне нестабильный и радиоактивный элемент, нуждающийся в особых мерах при транспортировке, хранении и утилизации.

Нестабильность плутония делает его мощным источником энергии, с одной стороны, и, с другой стороны, потенциально разрушительной силой, способной вызвать экологическую катастрофу. Ряд изотопов плутония может существовать десятки миллионов лет и представляет потенциальную опасность для заражения грунтовых вод своими изотопами. Ученые постоянно ищут способы, позволяющие безопасно хранить, перевозить и утилизировать плутоний и его соединения.

Одной из наиболее безопасных форм плутония является диоксид плутония, который представляет собой керамический материал, не растворяющийся в

воде и имеющий достаточно высокую температуру плавления. Наночастицы из диоксида плутония могут быть получены разными путями, используя различные исходные материалы, называемые прекурсорами (precursors), содержащие изотопы плутония. Немецкие ученые в своих экспериментах использовали прекурсоры под названием Plutonium (VI) (*Pu* (VI)), растворенные в воде и заметили неспецифические химические реакции. *Pu* (VI) во время его превращения в диоксид плутония, проходил через переходную фазу, в которой этот материал становился твердым и стабильным. В обычных условиях пентавалентный плутоний *Pu* (V) не является ни твердым, ни стабильным материалом. Необычную форму плутония, зафиксированную учеными в ходе эксперимента, первоначально определили, как неправильный ход химических реакций синтеза диоксида плутония.

Для подтверждения предположения, исследователи использовали рентгеновский спектрометр Rossendorf Beamline (ROBL). Этот прибор позволяет измерять энергию радиоактивных элементов, облучая их рентгеновским излучением и измеряя интенсивность их флюоресценции. Данное исследование подтвердило факт существования новой фазы *Pu* (V), а отобранные образцы были подвергнуты повторной проверке через три месяца, что позволило подтвердить стабильность новой формы плутония в течение длительного времени.

Данное открытие приведет к необходимости пересмотра некоторых известных и неизвестных эффектов, которые происходят во время длительного хранения отходов ядерного топлива, что в свою очередь позволит пересмотреть условия хранения ядерных отходов.

Заключение

Современные методы и технологии не позволяют до конца раскрыть все аспекты влияния ядерного топлива, его отходов и, как следствие, ядерной энергетики на окружающую среду и человека, однако изобретаются более совершенные методы утилизации ядерных отходов, новое ядерное топливо. Всё это позволяет, хоть и не до конца, но максимально возможно, на данный момент времени, минимизировать антропогенное влияние деятельности человека на самих себя и планету.

Литература

1. Буров, А. Л. Срабатывание аварийной защиты реакторной установки ВВЭР-1000 по ложной причине / А. Л. Буров, А. А. Павловская // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 140.
2. Центр им. Гельмгольца Дрезден-Россендорф (HZDR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://amp.ru.google-info.cn/6533555/1/tsentr-igelmgoltsa-drezden-rossendorf-hzdr.html>. – Дата доступа: 26.03.2021.