



РАДОН
РОСАТОМ

ТЕЗИСЫ

ШЕСТОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
И ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ
ОТХОДАМИ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ
ЦЕНТРОВ**



Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Сборник тезисов Шестой научно-практической конференции, 18-19 сентября 2024 г. /
Под общей редакцией проф. Е.А. Ваниной;
2024 — 29с: ил. 6, табл. 4.

В сборнике тезисов представлены основные результаты шестой научно-практической конференции ФГУП «РАДОН» в области разработки и совершенствования способов переработки твердых и жидких радиоактивных отходов, реабилитации территорий, хранения радиоактивных отходов, обеспечения безопасности хранилищ радиоактивных отходов, радиологического мониторинга и контроля, вывода из эксплуатации. Сборник предназначен для специалистов в области обращения с радиоактивными отходами и охраны окружающей среды.

Содержание

1. Савкин А.Е., Осташкина Е.Е., Сластенников Ю.Т.	
Показатели качества кондиционированных отработавших ионообменных смол.	5
2. Линге И. И.	
О периодическом радиационном контроле пунктов захоронения радиоактивных отходов.	6
3. Башаричев А.В., Окунев И.С., Сиротюк В.Я., Голиков В.А.	
Решение задач утилизации сухозаряженных накопителей электроэнергии и электронных компонентов методом парового риформинга.	7
4. Павлюк А.О., Котляревский С.Г., Беспала Е.В., Кан Р.И., Зеленецкая Е.П.	
Анализ содержания энергии Вигнера в облученном графите УГР.	9
5. Плисов В.В., Батяева М.В, Варлаков А.П	
Обеспечения достоверности измерений радиационных характеристик упаковок радиоактивных отходов.	12
6. Сердечная В.А.	
Анализ практики паспортизации РАО в контексте обеспечения требований по долговременной безопасности.	15
7. Кузнецова Н.М., Криворотова В.В., Камаева Т.С.	
Метрологическое обеспечение производства. Состояние и перспективы развития.	17
8. Сеницкая О.В., Костин А.В., Чирков В.Ю., Черняго Б.П., Герасименко А.С., Минигалиев Р.Ф. Тимофеев А.Е.	
Опыт работ по проведению мониторинга радиационной обстановки мест проведения подземных ядерных взрывов в Иркутской области.	20
9. Градобоева А.В.	
Этапы развития объектного мониторинга состояния недр на примере НПК – СПФ ФГУП «РАДОН». ..	22
10. Петровская А.С., Цыганов А.Б.	
Ионно-плазменная технология дезактивации реакторных установок: расчет скорости ионного распыления радиоактивных отложений.	24
11. Сорокин В.Т., Смола Е.И., Рябков Д.В., Скриган И.Н., Кашеев В.А., Сунцов Д.Ю.	
Об остекловывании кубового остатка АЭС с ВВЭР-1200	26
12. Полканов М.А. Кадыров И.И.	
Развитие плазменной технологии переработки твердых радиоактивных отходов	29

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КОНДИЦИОНИРОВАННЫХ ОТРАБОТАВШИХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ

Савкин А.Е., Осташкина Е.Е., Сластенников Ю.Т.

ФГУП «РАДОН», г. Москва, Россия

e-mail: AESavkin.radon.ru

Аннотация:

во ФГУП «РАДОН» проведены исследования по определению показателей качества ионообменных смол (ИОС), кондиционированных методом обезвреживания, и обезвреженных ИОС, включенных в полимерную матрицу. Исследовались образцы полимерного компаунда через 28 суток твердения и через два года приповерхностного хранения. Установлено, что за два года приповерхностного хранения полимерного компаунда с включенными ИОС основные показатели качества не изменились и соответствуют требованиям НП-019-15. Показатели качества обезвреженных ИОС также соответствуют требованиям НП-019-15. После проведения дополнительных исследований по изучению свойств пожароопасности обезвреженных ИОС обезвреживание и включение в полимерную матрицу могут быть рекомендованы в качестве методов кондиционирования.

Ключевые слова:

радиоактивные отработавшие ионообменные смолы, кондиционирование, показатели качества, соответствие

В ходе переработки ЖРО на объектах атомной энергетики образуются концентраты (высокосолевые ЖРО) и отработавшие фильтроматериалы, основными из которых являются ионообменные смолы (ИОС). Свободные объемы для их хранения на всех объектах практически исчерпаны. В результате эксплуатации на АЭС России накоплено ~ 30 тыс. м³ ИОС при общем объеме накопленных ЖРО более 90 тыс. м³. Большие количества ИОС накоплены также на предприятиях Атомфлота.

Значительная доля ИОС в общем количестве накопленных ЖРО исключает возможность их совместной переработки. Для переработки ИОС необходимо создавать специализированные установки. Промышленных установок для переработки ИОС в России на данный момент не существует.

Во ФГУП «РАДОН» в лабораторном и опытно-промышленном масштабе проведены испытания различных методов переработки и кондиционирования радиоактивных отработавших ионообменных смол (ИОС): обезвреживание, сушка, дезактивация, пиролиз, сверхкритическое водное окисление и включение в матричные материалы. Проведена оценка технологической приемлемости методов по следующим критериям: соответствие требованиям нормативных документов, удельная активность ИОС и наличие сертифицированной упаковки, производительность установки. Выбранным критериям соответствуют: обезвреживание, включение в полимерную матрицу и цементирование. Выполнено технико-экономическое сравнение выбранных технологий, показавшее преимущество обезвреживания и включения в полимерную матрицу.

Разработана, изготовлена и испытана на реальных ИОС полномасштабная опытно-промышленная установка обезвреживания и включения ИОС в матричный материал непосредственно в контейнере для захоронения. На установке кондиционировано 23 м³ отработавших ИОС ФГУП «РАДОН» и Калининской АЭС (КлнАЭС).

В дальнейшем проведены исследования по определению показателей качества ИОС, кондиционированных методом обезвреживания, и обезвреженных ИОС, включенных в полимерное связующее. Для исследований использовались образцы после 28 суток твердения, а также отбирались пробы полимерного компаунда из упаковок по двух лет их приповерхностного хранения. Установлено, что за два года приповерхностного хранения полимерного компаунда на основе ИОС основные показатели качества не изменились и соответствуют требованиям НП-019-15.

По результатам исследований обезвреженных ИОС Курской АЭС с удельной активностью 2х10⁷ Бк/кг определены следующие основные показатели их качества:

- водостойчивость по ¹³⁷Cs: (10⁻⁵—10⁻⁶) г/см²·сут;
- термическая стойкость (после 30 циклов замораживания и оттаивания от -40 до +40 °С) по водостойчивости: (10⁻⁵—10⁻⁶) г/см²·сут;
- радиационная стойкость при дозе облучения 10⁴ Гр: (10⁻⁵—10⁻⁶) г/см²·сут.

Данные показатели соответствуют требованиям НП-019-15.

Таким образом, после проведения дополнительных исследований по изучению свойств пожароопасности обезвреженных ИОС обезвреживание, наряду с включением в полимерную матрицу, может быть рекомендовано как метод кондиционирования.



О ПЕРИОДИЧЕСКОМ РАДИАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ ПУНКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Линге И. И.

ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия

iil@ibrae.ac.ru

Аннотация:

Автором представлен подход к проведению радиационного контроля пунктов захоронения радиоактивных отходов на стадии после закрытия. Подход включает применение комбинированной методики наземной лазерной съемки и радиационного обследования. Результаты методики позволяют как осуществлять контроль целостности покрывающего экрана ПЗРО путем идентификации деформаций покрывающего экрана и иных вмешательств, так и представлять результаты радиационного мониторинга в общей информационной модели объекта.

Ключевые слова:

радиационный контроль, пункт захоронения радиоактивных отходов, стадия «после закрытия», наземная лазерная съемка, деформационный мониторинг, покрывающих экран, информационная модель

Действующей нормативной базой в области требований по контролю после закрытия пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) предусмотрено проведение «периодического радиационного контроля» (ст. 190 ФЗ). Содержание такого периодического радиационного контроля нормативными документами до настоящего времени не регламентировано. В этой связи важно определить изменения в состоянии ПЗРО, которые могут экспериментально и без дополнительного вмешательства быть определены на длительных промежутках времени. В первую очередь, это признаки внешнего вмешательства. Во-вторую очередь - появление деформаций покрывающих экранов. Важным обстоятельством, характеризующим стабильность системы захоронения, является сохранение водного режима и лишь в последнюю очередь может быть выявлено изменение радиационной обстановки на месте размещения ПЗРО.

Для контроля стабильности системы захоронения ПЗРО автором предложен метод наземной лазерной съемки (НЛС). Технические характеристики современного оборудования для НЛС позволяют говорить об экономической эффективности метода и существенно новом качестве контроля деформаций покрывающего экрана. Предлагаемый метод контроля покрывающего экрана с применением НЛС включает: создание опорной сети, НЛС - съемку с применением метода уравнивания облаков точек по контрольным маркам, базовый набор методов обработки результатов цикла наблюдений за деформациями и сохранение в формате информационной модели результатов контроля деформаций. Технические характеристики лазерных сканеров пока не могут конкурировать с отдельными геодезическими приборами. Однако результаты НЛС дают существенно иную, богатую по своему материалу картину состояния объекта в цифровой форме. В докладе приведены примеры выявления деформаций на реальных объектах и в тестовом эксперименте.

Общую методику периодического радиационного контроля предлагается проводить в составе: регулярное (раз в пять - десять лет) проведение цикла НЛС-съемки, совмещенное с измерением радиационных параметров, анализ и выявление деформаций и признаков вмешательства (изменений), специализированные обследования деформаций с применением георадарной съемки.

Результаты работ выражают уверенность в успешном завершении разработки и апробации методики и готовности технологий для контроля целостности ПЗРО после закрытия в 2025-2026 годах.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УТИЛИЗАЦИИ СУХОЗАРЯЖЕННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕТОДОМ ПАРОВОГО РИФОРМИНГА

Башаричев А.В.¹, Окунев И.С.¹, Сиротюк В.Я.¹, Голиков В.А.²

¹Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ), г. Гатчина, Ленинградской обл., Россия

e-mail: nckb@npni.nrcki.ru

²ООО «Топливная Экологическая Компания» (ООО «ТЭК»)
г.Санкт-Петербург, Россия

e-mail: tek68@list.ru

Аннотация:

В докладе освещены вопросы возможностей применения метода парового риформинга по переработке батареек, бытовых сухозаряженных аккумуляторных батарей, элементов солнечных батарей, электронного лома (плат, изолированных проводов, микросхем и т.д.) с получением вторичных продуктов (никель, кадмий, молибден, марганец, медь, кремний и т.п.). Метод позволяет перерабатывать отходы с извлечением цветных металлов и других элементов без образования вторичных химических загрязнений.

Ключевые слова:

паровой риформинг, утилизация, микроволновая энергия, пар атмосферного давления, температура обработки, зольные остатки, карбонизация.

Батарейки и сухозаряженные аккумуляторы – один из самых токсичных видов бытовых отходов (цветные металлы: цинк, свинец, марганец, литий, медь, кадмий, никель). При попадании в природную среду всего одного аккумулятора площадь загрязнения составляет порядка 20 м² земли и 400 л воды вокруг. Темпы общемировых мощностей рециркуляции материалов литий-ионных аккумуляторных батарей

(Li-Ion АКБ) существенно отстают от необходимых показателей.

«Задача утилизации батареек и аккумуляторов становится более актуальной для всех стран, поэтому необходимы решения для последующего повторного применения или утилизации батареек и накопителей энергии», - отметил В.В. Путин на заседании Совета по науке и образованию (февраль 2022 г.).

НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ совместно и на базе ООО «ТЭК» была отработана методика утилизации батареек и сухозаряженных аккумуляторов, элементов солнечных батарей, электронного лома методом парового риформинга [1, 2].

Отличительные особенности технологии ООО «ТЭК»:

- использование микроволновой энергии для получения перегретого водяного пара атмосферного давления в пределах 700 – 1050 °С;
- создание в реакторе зон сушки, карбонизации и конверсии с однородным по сечению распределением температуры;
- получение в процессе утилизации отходов синтез-газа, пригодного для использования в качестве энергетического ресурса для производственно-бытовых нужд. Ранее промышленные установки газификации отходов, модифицированные по данной схеме, на территории России не использовались.

При температуре обработки отходов в пределах 700 – 1050 °С процесс может рассматриваться, как технология пиролиза в восстановительной среде водяного перегретого пара [3]. Проведённый анализ зольных остатков после серий испытаний по утилизации батареек, сухозаряженных аккумуляторов, элементов солнечных батарей и электронного лома показал фактически первоначальное содержание металлов, хлора, серы и других элементов в золе в виде солей или окислов.



Содержащиеся в зольном остатке магнитные металлы извлекаются без дополнительной обработки. Оксиды марганца и другие немагнитные элементы могут извлекаться гравитационным обогащением.

Используя метод атомной эмиссионной спектроскопии, было изучено содержание элементов в твердом зольном остатке и воде адсорбера после прохождения, остаточного перегретого пара с элементами синтез-газа через водную фильтр – ловушку (адсорбер).

Полученные результаты утилизации сухозаряженных накопителей электроэнергии и электронных компонентов указывают, что образующийся в процессе риформинга синтез-газ с остаточным водяным паром фактически не содержит и не уносит тяжелые токсичные металлы. Содержащиеся металлы в воде адсорбера имеют концентрации на уровне и ниже ПДК для питьевой воды.

Таким образом, метод парового риформинга не ведет к образованию вторичных токсичных отходов, существенно снижает себестоимость переработки сухозаряженных накопителей электроэнергии и электронного лома с возможностью дальнейшего повторного использования извлеченных элементов в производстве.

Список литературы

1. Башаричев А.В., Окунев И.С., Сиротюк В.Я., Голиков В.А., Иванов В.А. Решение проблемы переработки, утилизации батареек и сухозаряженных аккумуляторов методом парового риформинга // *Материалы международной научно-практической конференции «Экологическая промышленная и энергетическая безопасность – 2023»*
2. Топливная экологическая компания. Есть такая партия, есть такая технология! // *Газета «Общество и Экология»*. – 2022. – № 3. – С. 237.
3. Прибатурин Н.А., Богомолов А.Р., Алексеев М.В., Шевырёв С.А. Конверсия углеродсодержащих материалов в среде высокотемпературного водяного пара // *Вестник КузГТУ*. – 2010. – № 4. – С. 89 - 93.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЭНЕРГИИ ВИГНЕРА В ОБЛУЧЕННОМ ГРАФИТЕ УГР

Павлюк А.О.^{1,2}, Котляревский С.Г.², Беспала Е.В.^{1,2}, Кан Р.И.², Зеленецкая Е.П.¹

¹Томский политехнический университет (ТПУ), г. Томск, Россия

e-mail: pavlyuk17@tpu.ru

²Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых ядерных реакторов (АО «ОДЦ УГР») г. Северск, Россия

e-mail: info@dnrc.ru

Аннотация:

В докладе представлены методические подходы определения параметров отжига радиационных дефектов и, соответственно, выделения запасённой энергии (энергии Вигнера) в облученном графите. Рассмотрены подходы по отбору проб графита из разных мест и элементов графитовых кладок промышленных уран-графитовых реакторов, а также устройство экспериментальной установки для дифференциально-термического анализа проб, позволившей получить спектры выделения энергии Вигнера графита и опробовать алгоритм их математической обработки для определения энергий активации.

Ключевые слова:

облученный графит, дефекты кристаллической решетки, энергия Вигнера, вывод из эксплуатации, энергия активации

В настоящее время во всём мире накоплено около 250 000 тонн облученного реакторного графита [1]. Проблема облученного графита остановленных реакторов имеет существенное значение при обосновании безопасности работ по выводу из эксплуатации ядерных реакторов с графитовым замедлителем [1]. Отмечается, что одной из проблем является накопленная под воздействием нейтронного излучения в реакторном графите запасенная энергия (энергия Вигнера), которая при определенных условиях, зависящих от параметров облучения и условий отжига, может выделяться спонтанно и приводить к разогреву графита выше температуры окисления (400-500°C), что соответственно влияет как на пожарную безопасность, так и радиационную, связанную с выходом радионуклидов.

В рамках настоящей работы были применены методические подходы определения параметров отжига радиационных дефектов и, соответственно, выделения энергии Вигнера, основанные на отборе и исследованиях проб графита из окончательно остановленных после почти 30-ти летней эксплуатации уран-графитовых реакторов [2]. При этом был охвачен весь диапазон по интегральному потоку повреждающих нейтронов и температуре облучения – факторов, определяющих параметры накопления и выделения запасенной энергии. Для решения поставленной задачи были разработаны методические подходы по отбору проб графита из разных мест и элементов графитовой кладки.

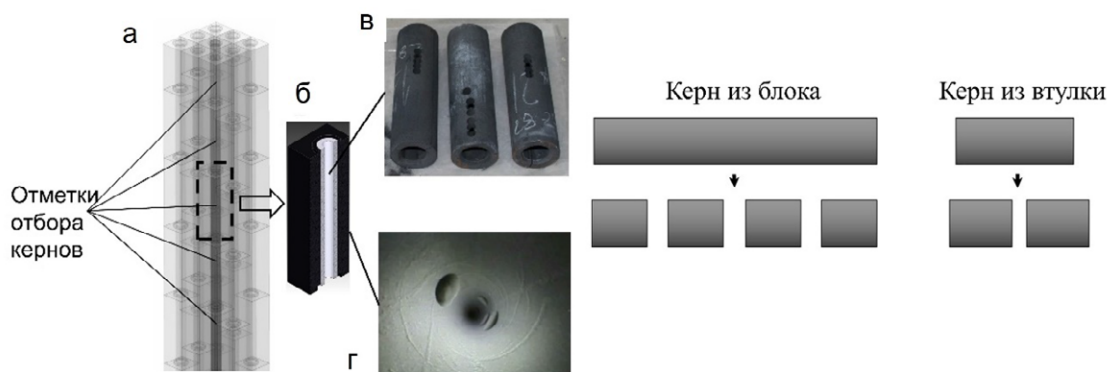


Рис. 1 - Схема отбора (слева) и изготовления образцов из кернов, отобранных из блоков и втулок графитовой кладки (справа): а – графитовые колонны; б – графитовый блок со втулкой; в – извлеченные графитовые втулки; г – внутренняя поверхность графитового блока после отбора кернов

Изготовлена экспериментальная установка для дифференциально-термического анализа проб (рис.2), позволившая получить спектры выделения энергии Вигнера графита и опробовать алгоритм их разложения на распределения Гаусса для определения энергий активации.

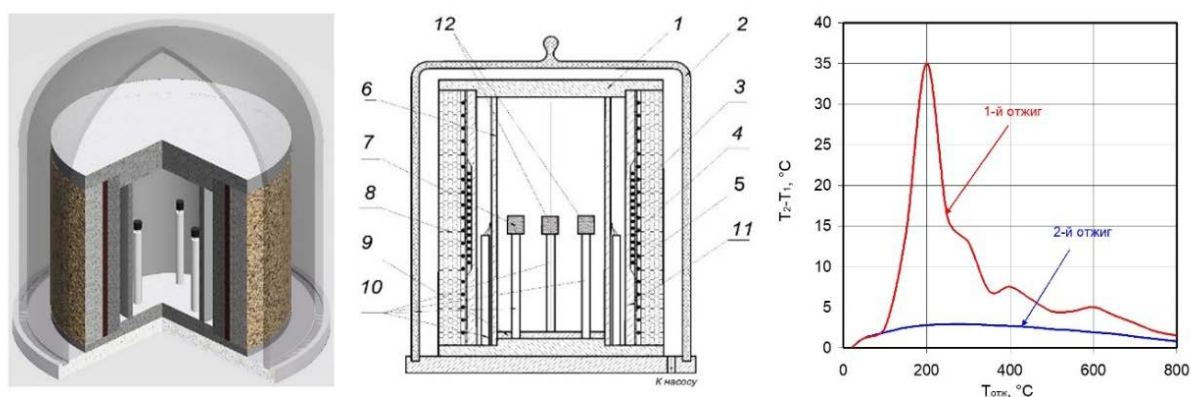


Рис. 2 - Схемы экспериментальной установки для дифференциального термического анализа проб графита (слева и в центре) и полученный характерный спектр выделения энергии (справа): 1 - крышка калориметра; 2 - стеклянный колпак; 3 - внутренняя обмотка нагревателя; 4 - внешняя обмотка нагревателя; 5 - электроизоляция (слюда); 6 - внутренняя стенка калориметра; 7 - образец; 8 - теплоизоляция (асботкань); 9 - дно калориметра (нерж. сталь); 10 - термопары; 11 - внешняя стенка калориметра; 12 - эталоны

На рис. 3 представлен пример разложения экспериментального энергетического спектра выделения энергии Вигнера с помощью распределений Гаусса. Результаты позволяют более точно определить параметры (энергии активации, скорость выделения накопленной энергии, температуру начала выделения энергии, температуру отжига дефектов и др.), необходимые для дальнейшего моделирования процессов тепловыделения в графите [2]. Анализ набора спектров позволил определить следующие параметры температур в максимумах и энергии активации: 1й - $T_{\max} \sim 241^\circ\text{C}$, $E_a = 1.6$ эВ; 2й - $T_{\max} \sim 352^\circ\text{C}$, $E_a = 1.9$ эВ; 3й - $T_{\max} \sim 454^\circ\text{C}$, $E_a = 2.25$ эВ; 4й - $T_{\max} \sim 509 - 628^\circ\text{C}$, $E_a = 2.6$ эВ; 5й - $T_{\max} \sim 695 - 731^\circ\text{C}$, $E_a = 2.95$ эВ. Полученные значения энергии активации E_a и другие параметры выделения запасенной энергии были использованы для моделирования различных сценариев тепловыделения графитовых РАО [2].

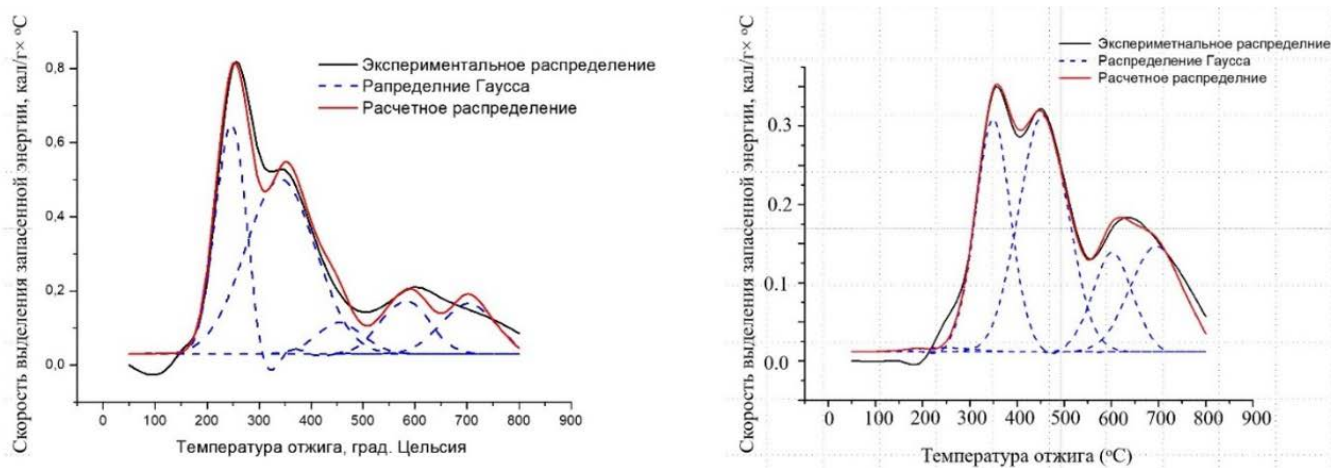


Рис. 3. Пример разложения спектров отжига дефектов (выделение энергии Вигнера) в графите с помощью распределений Гаусса

Один из вариантов по оценке динамики тепловыделения в контейнере (типа бочка) с графитовыми втулками представлен на рис. 4. Как показали результаты моделирования сценария с разогревом дна контейнера максимальная температура графита не превысит 400°C , а время разогрева объема графита в контейнере t не превышает ~ 250 минут [2].

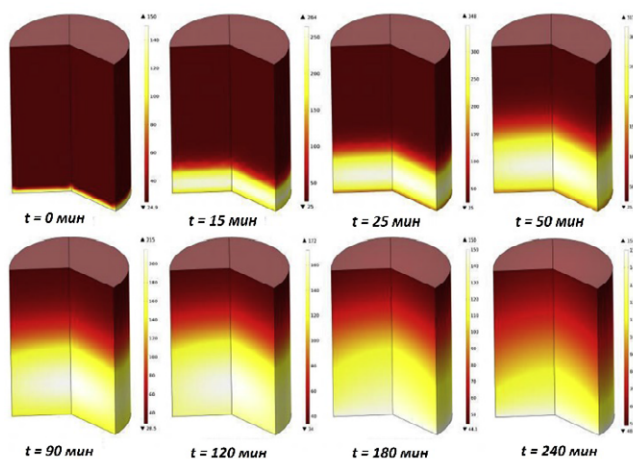


Рис. 4. Динамика распределения температурного поля в графитовом цилиндре в геометрии стандартного контейнера ($d = 560$ мм, $h = 800$ мм, $V = 200$ л) при выделении энергии Вигнера (температура нижнего торца поддерживается при $T = 150$ °C)

Заключение

Как показали результаты, методические подходы к определению параметров отжига радиационных дефектов и, соответственно, выделения запасённой энергии, применённые для анализа конечного состояния графита ПУГР, показали свою надежность и могут быть адаптированы для УГР других типов (РБМК, ЭГП-6 и др.).

Список литературы

1. B. T. Kelly, *Modelling of the Kinetics of Release of Wigner Energy in Graphite*. UKAEA Report NRL-R-2028(S), 1989.
2. A. O. Pavliuk et al, "Dynamics of Temperature Fields During Wigner Energy Release In Bulk Graphite Irradiated At Low Temperature," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 515, pp. 303–311, Mar. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2018.12.044>.



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УПАКОВОК РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Плисов В.В., Батяева М.В., Варлаков А.П.

Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» (АО «ВНИИНМ»), г. Москва, Россия

e-mail: vvplisov@bochvar.ru

Аннотация: В докладе представлены результаты оценки влияния неточности соответствия параметров шаблона, используемого при калибровке гамма-спектрометра по эффективности регистрации гамма-квантов, на результаты измерения активности радионуклидов в упаковке РАО.

Ключевые слова: радиоактивные отходы (РАО), метод Монте-Карло, Критерии отнесения к РАО, гамма-спектрометрия, радиационные характеристики, неразрушающий контроль, эффективность регистрации.

Измерение радиационных характеристик радиоактивного содержимого упаковок радиоактивных отходов (РАО) является наиболее важной задачей при их характеризации перед отправкой на захоронение или длительное хранение, а также при выполнении входного контроля в пунктах хранения/захоронения. Радионуклидный состав и удельная активность радионуклидов в РАО определяют их категорию, класс в соответствии с Критериями отнесения отходов к РАО [1] и период потенциальной опасности.

Основными методами измерений удельной активности радионуклидов в РАО являются – методы разрушающего контроля (основаны на отборе и анализе представительных проб РАО в условиях лаборатории), методы неразрушающего контроля (выполнение измерений без вскрытия упаковки РАО и отбора проб), а также метод радионуклидного вектора, который сочетает в себе статистическую обработку результатов разрушающего контроля проб РАО и неразрушающий контроль активности реперных радионуклидов в упаковке РАО [2, 3].

Основным же неразрушающим методом измерений удельной активности радионуклидов в упаковках РАО на предприятиях отрасли является гамма-спектрометрия, при этом ее применение сопряжено с рядом метрологических сложностей. Эти сложности обусловлены, прежде всего, отсутствием стандартных образцов для калибровки гамма-спектрометров, воспроизводящих пространственно-протяженные объекты измерений – упаковки РАО, сформированные на основе стальных или железобетонных контейнеров большого объема (типа КМЗ, НЗК и т.п.) и бочек объемом 200 дм³. Отсутствие стандартных образцов также не позволяет провести экспериментальную оценку показателей точности методик измерений и оценить фактическую правильность выполняемых измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в упаковке.

В настоящее время калибровку гамма-спектрометров для выполнения измерений удельной активности радионуклидов в упаковках РАО проводят расчетным методом с применением специализированного программного обеспечения (ПО «ISOCS», «EffMaker», «MCC-MT» и т.п.). Специализированное программное обеспечение методом Монте-Карло моделирует взаимодействие гамма-излучения объекта измерений (упаковки РАО) с детектором и формирует калибровочный файл с зависимостью эффективности регистрации гамма-квантов от их энергии. При этом такая калибровка может быть как полностью расчетной, включающей моделирование объекта измерений и детектора гамма-излучения (например, ПО «MCC-MT»), так и предполагать предварительную характеристику детектора с использованием образцовых точечных источников гамма-излучения (например, ПО «ISOCS»).

Активность радионуклида, испускающего гамма-кванты с энергией E_γ , в упаковке РАО рассчитывают, исходя из показаний гамма-спектрометра, по формуле

$$A = \frac{S(E_\gamma)}{\varepsilon(E_\gamma, \vec{x}) \cdot \eta(E_\gamma)},$$

где $S(E_\gamma)$ – скорость счета импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией E_γ измеренная гамма-спектрометром (за исключением фона), с-1;

$\varepsilon(E_\gamma, \vec{x})$ – эффективность регистрации гамма-квантов с энергией E_γ , рассчитанная специализированным

программным обеспечением для условий измерений упаковки РАО, которые характеризуются набором параметров $\vec{x}$, $\text{с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$;

$\eta(E_\gamma)$ – выход гамма-квантов с энергией E_γ на один распад радионуклида, отн.ед.

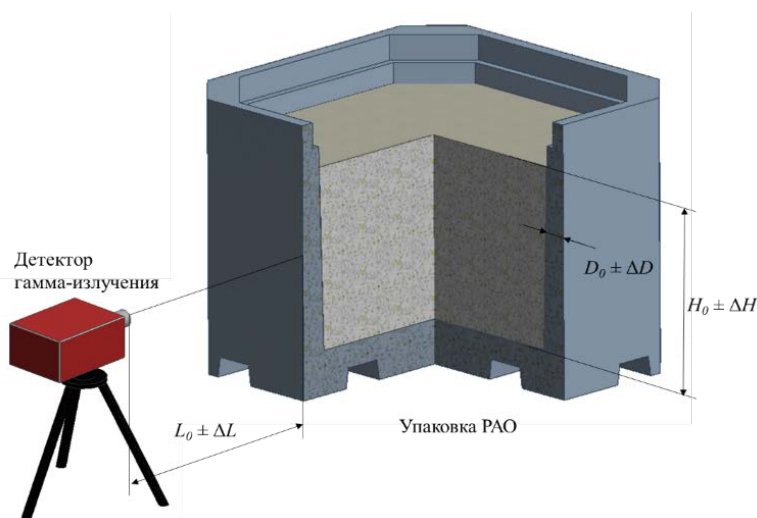
Для расчета эффективности регистрации гамма-излучения $\epsilon(E_\gamma)$ в специализированном программном обеспечении необходимо создать шаблон, в котором задаются параметры системы измерений: геометрические размеры измеряемого объекта (упаковки РАО), толщина и характеристики (тип, плотность) материала стенки контейнера, геометрические размеры и характеристики (тип, плотность) материала – источника излучения, моделирующего измеряемые РАО, расстояние между детектором и измеряемым объектом (упаковкой РАО). Создать такой шаблон может сам оператор, выполняющий гамма-спектрометрические измерения, или он предварительно создается на предприятии-изготовителе спектрометрического оборудования.

Как видно из формулы (1), величина рассчитанной эффективности регистрации гамма-излучения $\epsilon(E_\gamma)$ существенным образом влияет на результаты измерений, и при одних и тех же показаниях гамма-спектрометра $S(E_\gamma)$ разные ее оценки будут приводить к различным значениям активности радионуклида в упаковке РАО. Соответственно, отклонение параметров реальной системы измерений от заданных параметров шаблона калибровки гамма-спектрометра по эффективности (и наоборот) повлечет за собой ошибки в определении удельной активности радионуклидов в РАО и, возможно, в определении категории и класса РАО.

В настоящей работе был выполнен анализ влияния неточности соответствия параметров реальной системы измерений заданным параметрам шаблона, относящимся к характеристикам упаковки РАО и расстоянию между детектором гамма-излучения и упаковкой РАО, на результаты измерения активности радионуклидов, испускающих гамма-кванты с различными энергиями.

При оценке влияния были рассмотрены основные параметры, характеризующие расположение детектора гамма-излучения и упаковки РАО при выполнении измерений активности радионуклидов (рисунок 1): толщина стенки контейнера (D), высота слоя гомогенных РАО в контейнере (H), расстояние от детектора гамма-излучения до стенки контейнера (L).

Рисунок 1 – Расположение детектора гамма-излучения и упаковки РАО при выполнении измерений активности радионуклидов



Проведенный анализ влияния неточности соответствия параметров реальной системы измерений заданным параметрам шаблона показал высокую чувствительность результатов гамма-спектрометрических измерений активности радионуклидов в упаковке РАО к корректности задания параметров конфигурации измерений в шаблоне СПО при выполнении калибровки: ошибки в задании параметров шаблона СПО приводят к ошибке в измеренных значениях удельной активности радионуклидов в упаковке РАО, которая может составлять до двух порядков.

В этих условиях важным фактором, обеспечивающим достоверность паспортизации упаковок РАО, является развитие культуры измерений на предприятиях отрасли, которая заключается в том, что операторы, выполняющие гамма-спектрометрические измерения упаковок РАО, должны точно задавать параметры в шаблонах СПО, а также контролировать соответствие реальных условий измерений используемым готовым калибровкам.

Из-за отсутствия стандартных образцов, воспроизводящих упаковки РАО, развитие культуры измерений может обеспечиваться только проведением межлабораторных сличительных испытаний (МСИ), в рамках которых предприятиям-участникам рассылаются идентичные образцы, имитирующие упаковки РАО.



Участие в МСИ позволит операторам экспериментально оценить правильность задания параметров в шаблонах СПО и правильность создания условий измерений упаковок РАО, а также выполнить корректирующие действия, направленные на повышение достоверности измерений активности гамма-излучающих радионуклидов при паспортизации РАО.

Повышение достоверности гамма-спектрометрических измерений удельной активности радионуклидов в отходах позволит более точно проводить их отнесение к категории РАО, тем самым снизив объемы РАО, образующихся на предприятиях.

Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.10.2022 № 1929 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069».
2. Дорофеев А.Н., Зиннуров Б.С., Варлаков А.П., Германов А.В., Ивлиев М.В., Чаузова М.В., Калмыков С.Н., Петров В.Г. Реализация единства измерений характеристик РАО при передаче на захоронение // Радиоактивные отходы. 2023. № 2 (23). С. 8 – 20. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-2-8-20.
3. ГОСТ Р 59968-2021 Радиоактивные отходы атомных станций. Определение радиационных характеристик для передачи на захоронение.

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ПАСПОРТИЗАЦИИ РАО В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сердечная В.А.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), г. Москва, Россия

e-mail: vas@ibrae.ac.ru

Аннотация: В докладе приведены результаты анализа практики паспортизации РАО в части изотопного состава (с целью неперевышения установленных пределов безопасности ПЗРО) и степени заполнения контейнера с РАО (для подтверждения отсутствия возможности просадки верхнего покрывающего барьера безопасности).

Ключевые слова: радиоактивные отходы (РАО), паспортизация РАО, долговременная безопасность, пункт захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), сложно детектируемые нуклиды, методика радионуклидного вектора, степень заполнения контейнера.

В соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1], паспорт РАО должен содержать сведения, подтверждающие выполнение условий, определяющих долговременную безопасность, в том числе – изотопный состав (с целью неперевышения установленных пределов безопасности ПЗРО) и степень заполнения контейнера с РАО (для подтверждения отсутствия возможности просадки верхнего покрывающего барьера безопасности). Вопросы контроля радиационных характеристик и выполнения требования об обязательном заполнении контейнера РАО и матричным материалом не менее чем на 80% был рассмотрен на основании данных паспортов на упаковки с кондиционированными РАО в рамках мероприятий ФЦП ЯРБ-2 (было проанализировано более 5000 упаковок).

Исторически сложилось, что для контроля за характеристиками эксплуатационных РАО в Российской Федерации применяются методы гамма-спектрометрии. Это обусловлено определяющим вкладом гамма-активных радионуклидов в дозовые нагрузки на персонал при обращении с РАО и относительной простотой применения соответствующего оборудования. Однако международный опыт показывает, что для целей обоснования безопасности захоронения РАО важны принципиально иные радионуклиды. В связи с этим во многих странах разрабатываются и внедряются методы радионуклидных векторов. Это вопросу посвящен, например, технический отчет МАГАТЭ [2]. Отсутствие на предприятиях средств и методик контроля сложно детектируемых радионуклидов

(Ni-63, C-14, Cl-36, I-129) потенциально может привести к расхождению фактических данных и данных учетных документов (паспортов, формуляров, журналов учета), что, в свою очередь, приведет к ошибочному определению активности и, как следствие, неверному категорированию РАО.

В 2022 г. ИБРАЭ РАН была проведена предварительная оценка значимости долгоживущих сложно детектируемых радионуклидов в РАО АЭС на основании методик радионуклидного вектора Смоленской и Нововоронежской АЭС. В качестве «расчетных» точек по активности реперных радионуклидов (Co-60, Cs-137) были приняты фактические данные отдельных паспортов переданных на захоронение РАО. Значимость полученных расчетных значений удельных активностей сложно детектируемых радионуклидов (C-14, Cl-36, Ni-63, Nb-94, Tc-99, Pu-238, I-129) этих РАО оценивалась в соответствии с ПЗУА [3], критериями освобождения твердых материалов от радиационного контроля (приложение 3 к ОСПОРБ-99/2010) [4] и предельными содержаниями долгоживущих радионуклидов, оценки которых представлены в ТЕСДОС-1380 МАГАТЭ [5]. Превышение в отдельных случаях значений ПЗУА, установленных в [3], выявило потребность в проведении работ по оценке данных нуклидов в РАО АЭС.

Выполнение требования о заполнении контейнера РАО матричным материалом не менее чем на 80% было проанализировано для отходов с однородным морфологическим составом: металла, полимеров и солевого плава. В качестве упаковок РАО рассматривались контейнеры типа НЗК-МР1, ЖБУ, КРАД-1,36, КРАД-Т, НЗК-150-1,5П, НЗК-РАДОН,

КМЗ-РАДОН и КМЗ-3,3. Полученные значения плотности полимеров и солевого плава имеют небольшие отклонения от теоретических значений (что объясняется особенностями их морфологии), тогда как для металлических РАО разброс этих значений достаточно велик. На основании данных оценки заполняемости



контейнеров с металлическими РАО был сделан вывод о том, что ни для одного из рассмотренных случаев требование

НП-093-14 не выполняется.

Полученные результаты анализа практики паспортизации РАО свидетельствуют о необходимости пересмотра технологических цепочек (в частности, применение буферного материала), а также ужесточения контроля на предприятии и при передаче отходов на захоронение.

Список литературы

1. НП-093-14 «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения».
2. IAEA-Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18. *Determination and Use of Scaling Factors for Waste Characterization in Nuclear Power Plants*. IAEA, 2009.
3. Постановление Правительства РФ от 19.10.2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (с изменениями и дополнениями).
4. ОСПОРБ-99/2010 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности».
5. IAEA-TECDOC-1380. *Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities*. IAEA, 2003.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Кузнецова Н.М., Криворотова В.В., Камаева Т.С.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды»
(ФГУП «РАДОН»), г. Москва, Россия

e-mail: NiMiKuznetsova@radon.ru

Аннотация: в докладе приведен краткий анализ состояния метрологического обеспечения производства во ФГУП «РАДОН», определены перспективы развития направления.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, метрологическая служба, средства измерения, поверка средств измерений, аттестация методик, метрологическая экспертиза документации

Метрологическим обеспечением является установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Основной задачей метрологического обеспечения производства является обеспечение единства измерений как необходимого условия повышения качества выполняемых задач предприятия, эффективности управления и производства, безопасности труда, уменьшения экологического воздействия на окружающую среду, обеспечение достоверных результатов при выполнении измерительных задач [1, 2].

Метрологическое обеспечение производства обеспечивает оптимизацию управления производственными процессами, стабилизирует процессы и поддерживает качество выполняемых предприятием задач:

- технологических процессов обращения с радиоактивными отходами (РАО), отработавшими источниками ионизирующих излучения (ИИИ);
- процессов вывода из эксплуатации ядерных и радиационно опасных объектов (ЯРОО);
- радиационно-реабилитационных работ;
- радиоэкологического мониторинга;
- радиационного контроля;
- научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- других видов деятельности предприятия, где применяются методы и средства измерений.

Метрологическая служба ФГУП «РАДОН» аккредитована в области обеспечения единства измерений на:

- поверку средств измерений по трем местам осуществления деятельности: отдел метрологического обеспечения производства (ОМОП) НПК-Сергиево-Посадского филиала, лаборатория метрологии филиала «Южный территориальный округ», поверочная лаборатория Саратовского отделения филиала «Приволжский территориальный округ» (расширение ОА на филиалы проведено в 2023 году), уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц № RA.RU. 310680 от 18.05.2015 г. Виды поверяемых средств измерений: ионизирующие, давления, разряджения, расхода, теплофизические, физико-химические, оптико-физические, массы, времени, электроизмерительные приборы
- аттестацию методик и метрологическую экспертизу документации: сотрудники метрологической службы и сотрудники ОМОП НПК-Сергиево-Посадского филиала, уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц № RA.RU. 311520 от 21.01.2016 г.

Аккредитацию в области обеспечения единства измерений при непосредственном участии и поддержке сотрудников метрологической службы в июне 2024 г. получила центральная лаборатория ДВЦ «ДальРАО»-филиал ФГУП «РАДОН». В область аккредитации входят: измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант, измерения давления, вакуумные измерения, теплофизические и температурные измерения, измерения электрических и электромагнитных величин.



Метрологическая служба осуществляет разработку и актуализацию документации по метрологическому обеспечению предприятия: переработаны и введены в 2024 г. в действие приказом по предприятию 15 ед., в том числе 6 ед. стандартов организации, 2 ед. Руководств по качеству. В 2023 году с введением ГОСТ Р 8.1015-2022 «ГСИ. Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации в ОИАЭ. Организация и основные требования к содержанию» [3] в том числе был переработан стандарт СТО Рад 26 «Проведение метрологической экспертизы документации» и организована работа по проведению метрологической экспертизы (МЭ) документации всех филиалов и отделений предприятия. По плану на 2024 год МЭ подлежат более 250 ед. документов. Вместе с тем проводится МЭ государственных и отраслевых документов по поручению метрологической службы ГК «Росатом» и экспертиза положений о метрологических службах предприятий, входящих в дивизион «Экологические решения».

Метрологической службой аттестовано и внесено в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений более 250 методик (МВИ, МРК, МКХА), разработанных на предприятии. Аттестация проводится в соответствии с СТО Рад 46 «Порядок аттестации методик (методов) измерений», в том числе разработаны и аттестованы методики для Нововоронежской АЭС – 5 ед., по договору с ГК «Росатом» – 4 ед. Кроме того, в настоящее время поступают заявки и ведется работа по аттестации методик для филиалов предприятия.

Во ФГУП «РАДОН» проводится внутренний метрологический надзор во всех подразделениях филиалов и отделений предприятия в соответствии с разработанным стандартом СТО Рад 84 «Организация и порядок проведения внутреннего метрологического надзора на предприятии» [4]. В 2023 году внутренний метрологический надзор был проведен в 16 подразделениях НПК-ФГУП «РАДОН» и в 12 филиалах. Перед проведением проверок подразделения заполняют опросник по установленной форме, учитывающей все аспекты по метрологическому обеспечению в подразделениях/филиалах/отделениях. По результатам проверок составляются акты внутреннего метрологического надзора. В случае необходимости разрабатываются мероприятия по устранению несоответствий и выданных рекомендаций. По результатам внутреннего метрологического надзора (МН) составляется итоговый годовой отчет, который позволяет сделать вывод об общем состоянии метрологического обеспечения на предприятии, наметить пути улучшения. Внутренние МН в филиалах/отделениях совмещаются с проведением внешних МН со стороны комиссии ГК «Росатом». В 2023 году было проведено 2 внешних МН: Уральский филиал (г. Челябинск) и СЗТО (н. Сосновый Бор). Результаты надзора положительные. В 2024 году запланировано 4 МН: филиал «Сибирский территориальный округ» (г. Иркутск), Нижегородское и Самарское отделения филиала «Приволжский территориальный округ» (ПТО), Кирово-Чепецкое отделение Приволжского филиала.

В рамках организации работ по МО на предприятии и в связи с передачей от ФГУП «ФЭО» 10 филиалов:

- создана метрологическая служба как структурное подразделение предприятия, с общей численностью 4 человека;
- созданы метрологические службы в филиалах/отделениях предприятия;
- назначены освобожденные (3) и неосвобожденные (4) главные метрологи;
- назначены ответственные за метрологическое обеспечение в подразделениях филиалов/отделений - 99 человек;
- ведется единая база СИ предприятия – ИБДСИ (филиалы/отделения передают сведения в метрологическую службу один раз в квартал);
- проводится согласование графиков поверки СИ филиалов/отделений с учетом распределения работ по поверочным лабораториям, включая логистику (выезд поверителей в филиалы);
- организована работа по рациональному использованию эталонов (передача отдельных эталонов в другие лаборатории);
- организована работа по обеспечению рабочими СИ одних филиалов/отделений из имеющихся фондов других филиалов/отделений;
- разработана система по созданию единой базы технической документации для всех филиалов, составлены и распространены перечни МВИ, техрегламентов, программ, инструкций и др. технической документации; разработана система быстрого получения необходимой документации филиалами.

Перспективы развития метрологической службы ФГУП «РАДОН»:

- выполнить процедуру расширения области аккредитации ФГУП «РАДОН» на право поверки СИ следующих видов измерений: измерения характеристик ионизирующего излучения и ядерных констант, измерения давления, вакуумные измерения в СЗЦ «СевРАО» (отделение Сайда губа);
- реализовать план по развитию центральной лаборатории ДВЦ «ДальРАО» по расширению области аккредитации по поверке СИ расхода жидкости и газа, спектрометров альфа-, бета- и гамма-излучения и радиометров радона;

- создать типовой комплект документации, необходимой для аккредитации и подтверждения компетентности лабораторий, в том числе закупочной документации;
- создать базу для расширения области аккредитации по местам осуществления деятельности: лаборатория метрологии (г. Ростов-на-Дону) и поверочная лаборатория (г. Саратов);
- разработать указатели имеющейся в филиалах нормативной и технологической документации, по примеру НПК-ФГУП «РАДОН», включающей технологическую документацию (технологические регламенты, технологические инструкции), регламенты метрологического обеспечения, программы измерений в системе контроля и учёта РВ и РАО, программы контроля качества параметров окружающей среды и измерений в системе контроля и учёта РВ и РАО, положения о метрологическом обеспечении филиалов, положения о метрологической службе филиалов и др.; проработать механизм получения документации до всех работающих на предприятии.

Список литературы

1. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон N 102-ФЗ: принят Государственной думой 11 июня 2008 года: одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 года.
2. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 31 июля 2020 г. N 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке»: зарегистрировано в Минюсте РФ 20 ноября 2020 г.
3. ГОСТ Р 8.1015-2022 «ГСИ. Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации в ОИАЭ. Организация и основные требования к содержанию».
4. СТО 95 12072-2021 «Метрологический надзор в области использования атомной энергии. Основные положения и процедуры проведения».



ОПЫТ РАБОТ ПО ПРОВЕДЕНИЮ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

**Синицкая О.В.¹, Костин А.В.¹, Чирков В.Ю.¹, Черняго Б.П.¹, Герасименко А.С.¹,
Минигалиев Р.М.², Тимофеев А.Е.², Горбунов В.А.²**

¹ Филиал «Сибирский территориальный округ» ФГУП «РАДОН», г. Иркутск, Россия

e-mail: sibto@radon.ru

² Научно-производственный комплекс-Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН» г. Москва, Россия

e-mail: infospf@radon.ru

Аннотация:

Проведена оценка текущей радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения подземного ядерного взрыва «Рифт-3» и в населенных пунктах, находящихся в радиусе 30 км от него. Выполнена оценка дозы техногенного облучения критической группы населения. В настоящее время проводится оценка текущей радиационной обстановки места проведения подземного ядерного взрыва «Метеорит-4».

Ключевые слова:

подземный ядерный взрыв, радиационное обследование, радиационный контроль, мощность дозы, доза облучения, проба, удельная активность, техногенные радионуклиды.

Подземные ядерные взрывы (ПЯВ) в мирных целях проводились в СССР в 1965-1988 гг. Подземные полости, образовавшиеся в результате ПЯВ и содержащие радиоактивные отходы, а также территории, прилегающие к местам проведения ПЯВ представляют собой источники потенциального и существующего облучения. Требования по обеспечению радиационной безопасности населения, проживающего на этих территориях определены СанПиН 2.6.1.2819-10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965 - 1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях». На территории Иркутской области расположено два ПЯВ – «Рифт-3» и «Метеорит 4», проведенные с целью глубинного сейсмического зондирования земной коры в 1982 и 1977 гг., соответственно.

Первые исследования радиационной обстановки вблизи этих ПЯВ были выполнены в начале 1990-х годов. В последующие годы обследования этих объектов в наиболее полном и расширенном объеме выполнялись различными организациями с периодичностью 1-2 раза в 5 лет, и не всегда на единой методической основе.

В 2023-2024 годах по заказу правительства Иркутской области работы по мониторингу радиационной обстановки на объектах ПЯВ «Рифт-3» и «Метеорит-4» выполняются филиалом «Сибирский территориальный округ» ФГУП «РАДОН». Основу для программы мониторинга радиационной обстановки вблизи этих ПЯВ составили требования СанПиН 2.6.1.2819-10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965 - 1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях».

Объект ПЯВ Рифт-3 был проведен в 5 утра местного времени 31 июля 1982 года на территории Осинского района в долине реки Обусы в 7 км восточнее пос. Борохал на глубине 860 м с энергоснабжением 10 кт в тротиловом эквиваленте. Прилегающая к нему охранная зона установлена радиусом 300 м. В 30 км-зоне от места взрыва и расположено 8 населенных пунктов общей численностью менее 1 тыс. человек.

Подземный ядерный взрыв Метеорит-4 был проведен 10 сентября 1977 года на территории Усть-Кутского района Иркутской области. Глубина проведения взрыва – 540 м, объявленная мощность 10 кт в тротиловом эквиваленте. Охранная зона – радиусом 250 м. В 30 км-зоне от места взрыва и расположено 3 населенных пункта – пос. Верхнемарково, дер. Казарки, д. Новоселова общей численностью до 2 тыс. человек.

По результатам выполненного в 2023 году радиационного обследования объекта ПЯВ «Рифт-3» радиационных аномалий на территории, прилегающей к объекту, не выявлено. Основные параметры радиационной обстановки находятся на уровне значений естественного радиационного фона, присущего данному региону [1].

В процессе полевого обследования в населенных пунктах Оса, Обуса, Горхон, Борохал, Ново-Ленино, Хайга, Кутанка, Онгой и в охранной зоне ПЯВ отобрано 59 проб пищевых продуктов и объектов окружающей среды.

Установлено, что во всех обследованных населенных пунктах нет радиационно-опасных аномалий, которые могли бы повлиять на радиационную безопасность населения.

По результатам проведенного радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий выявлено, что в общественных зданиях школы и почты села Ново-Ленино значения (мгновенные) ЭРОА дочерних продуктов распада радона и торона составляют около 400 Бк/м³. В соответствии с НРБ-99/2009 среднегодовые значения ЭРОА не должны превышать в жилых и общественных зданиях 200 Бк/м³. Сделана рекомендация по проведению комплексного обследования в д. Ново-Ленино, определение источников поступления радона в помещения и разработке мероприятий по его снижению.

В рамках лабораторных исследований проведено измерение 23 пробы почвы, 17 проб воды, 6 проб ягод и грибов, 13 проб сельскохозяйственной продукции.

В пробах почвы не были зафиксированы следы Co-60 и Am-241. Установлено, что плотность загрязнения Cs-137 почв обследованной территории определяется глобальным фоном, и ниже, чем характерно в среднем для территорий южной части Иркутской области [1]. Вклада в плотность загрязнения Cs-137 в результате влияния ПЯВ не выявлено.

Суммарная удельная бета-активность воды во всех обследованных источниках также существенно меньше контрольного уровня 1 Бк/кг, установленного для питьевой воды. По суммарной удельной альфа-активности предварительному критерию контроля ($A\alpha + \Delta A\alpha \leq 0,2$ Бк/кг), удовлетворяет вся вода, за исключением воды, отобранной из водозаборной скважины в частном хозяйстве в деревне Борохал.

Значения удельной активности трития в воде не превышает 5,1 Бк/л, что существенно ниже уровня вмешательства, установленных НРБ-99/2009 (приложение 2а) и соответствует среднему содержанию в водоемах России [2].

По результатам сопоставления полученных результатов с результатами ранее проведенных обследований сделан вывод, что радиационные параметры воды остаются стабильными.

По радиационному признаку вода из всех исследованных источников питьевого водоснабжения соответствует гигиеническим требованиям по радиационным параметрам. Влияния от ПЯВ «Рифт 3» не выявлено.

Значения удельной активности Cs-137, Sr-90 во всех пробах сельскохозяйственной продукции существенно ниже нормативов предельно допустимой удельной активности радионуклидов в продукции, установленных СанПиН 2.3.2.1078-01. 2.3.2. «Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Содержание техногенных радионуклидов в картофеле коррелирует с содержанием в почве в результате глобальных выпадений. Содержание Cs-137 во всех пробах продуктов не превышает 2 Бк/кг. Среднее содержание Sr-90 во всех пробах молока, за исключением молока, отобранного в деревне Борохал, составляет 5,4 Бк/кг сырья. Удельная активность Sr-90 в пробе молока, отобранного в деревне Борохал - $9,0 \pm 4,5$ Бк/кг. Также полученные значения удельной активности Sr-90 в молоке выше, чем значения, полученные в пробах того же типа в 2004 году [3]. Повышенная, по сравнению с другими пробами, удельная активность Sr-90 может быть обусловлена преобладанием на выпасах определенных видов растений, тем не менее, нельзя исключить возможное дополнительное воздействие от ПЯВ.

Рассчитан вклад в дозу облучения критической группы населения за счет техногенных радионуклидов, включающий потенциальную дозу дополнительного техногенного облучения критической группы населения, за счет ПЯВ. Вклад в дозу внешнего облучения населения от ПЯВ «Рифт-3» не превысит 0,25 мЗв/год, что соответствует требованиям СанПиН 2.6.1.2819-10.

В 2024 году работниками филиала выполняются работы по проведению радиационного обследования территории вблизи ПЯВ «Метеорит-4». Прямыми измерениями при полевых работах аномалий радиационного фона не выявлено. В настоящее время проводится обработка результатов измерений и лабораторный анализ проб окружающей среды, отобранных вблизи объекта «Метеорит-4» и в ближайших населенных пунктах. По окончании работ в правительство Иркутской области и местные органы Роспотребнадзора будет представлен отчет.

Список литературы

1. Б.П. Черняго, А.И. Непомнящих, В.И. Медведев «Современная обстановка в центральной экологической зоне Байкальской природной территории», Геология и геофизика, 2012, т.53, №9, с.1206-1218
2. А.А. Болсуновский, Л.Г. Бондарева «Тритий в экосистеме реки Енисей». г. Томск, 18-22 октября 2004 г., с. 92.
3. Синицкий В.В., Минаев Э.А., Мироненко С.Н. Радиационная обстановка в районе проведения подземного ядерного взрыва Рифт-3. Материалы II международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», г. Томск, 18-22 октября 2004 г., С. 544.



ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ НЕДР НА ПРИМЕРЕ НПК – СПФ ФГУП «РАДОН»

Градобоева А.В.

ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Москва, Россия

e-mail: grad@msnr.ru

Аннотация: В докладе представлена оценка состояния ОМСН на НПК – Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН». Основное внимание уделено роли моделирования в оценке влияния предприятия на окружающую среду.

Ключевые слова: объектный мониторинг состояния недр (ОМСН), зона контролируемого доступа (ЗКД), вывод из эксплуатации (ВЭ), радионуклид, наблюдательная сеть, скважина, постоянно действующая модель (ПДМ).

В 2021 г. НПК включен в отраслевую систему ОМСН. ФГБУ «Гидроспецгеология», являясь организацией обеспечивающей методологическое сопровождение ОМСН, провело обследование. Установлено, что сеть наблюдательных скважин на территории ЗКД находится в удовлетворительном состоянии.

Сеть выполняет функцию контроля распространения потенциального загрязнения в верхней части геологического массива, поэтому оценка степени воздействия предприятия на подземные воды межморенного водоносного горизонта и нижележащего водоносного горизонта, используемого для водоснабжения, невозможна.

По результатам обследования и анализу данных ОМСН даны рекомендации по совершенствованию системы мониторинга: оптимизация наблюдательной сети, уточнение фильтрационных параметров. [1]

В 2021 г. в соответствии с рекомендациями было пробурено 10 разведочно-наблюдательных скважин (3 куста скважин).

По результатам бурения новых скважин и анализа всего материала в 2022 г.:

- сформированы ряды долговременных систематических наблюдений за состоянием вод;
- в приконтурных зонах хранилищ установлены локальные ореолы загрязнения подземных вод радионуклидами;
- разработана геомиграционная модель, определены особенности миграции радионуклидов в условиях площадки, спрогнозировано развитие выявленных ореолов [2].

Модельные расчеты подтвердили, что современные и прогнозные ореолы ^3H , ^{137}Cs и ^{90}Sr локализованы вблизи хранилищ и не выходят за пределы промплощадки ФГУП «РАДОН», что согласуется с данными ОМСН.

С учётом результатов ОМСН и проведённого геофильтрационного и геомиграционного моделирования основными рекомендациями являются:

- оптимизация наблюдательной сети скважин;
- провести термометрию скважин, вскрывающих московско-днепровский водоупор;
- провести лабораторное определение коэффициентов распределения (K_d) надморенного водоносного горизонта и отложений московской морены для ^{137}Cs ;
- установить автоматизированное измерительное оборудование на гидропостах (ГП1-ГП4).

В 2023 г. разработан проект по оптимизации системы ОМСН на территории НПК-СПФ ФГУП «РАДОН» (бурение новых, ликвидация неудовлетворяющих требованиям ведения ОМСН скважин). [3]

В 2024 г. актуализированы геофильтрационная и геомиграционная модели, разработанные в 2022 г. [4]

Сопоставление ореолов, построенных за периоды 2013 – 2020 гг. и 2022 – 2023 гг. показало постепенное снижение площади и контрастности ореолов в грунтовых водах вблизи большинства хранилищ, поэтому площадку можно рассматривать как благоприятную.

В рамках доклада подтверждается логика методологии, заложенной ОМСН, что создание сети и оценка ее состояния, прогнозирование, оптимизация с учетом прогноза и мониторинг позволяют более детально понять описание происходящих процессов.

После реализации Проекта необходимо продолжать вести мониторинг.

Модель необходимо поддерживать в качестве постоянно действующей. Это позволит своевременно актуализировать прогнозы с целью последующего обоснования проектных решений при выводе хранилищ из эксплуатации. Также позволит дать достоверную информацию на возникающие у населения вопросы о степени влиянии предприятия на окружающую среду.

Список литературы

1. Чухлебов А.Н., Святовец А.С. и др. Оценка долговременных последствий химического и радиоактивного загрязнения компонентов окружающей среды в границах зон возможного влияния объектов ядерного наследия в северо-западном атомно-промышленном комплексе (филиале АО «Концерн Росэнергоатом» Ленинградская АЭС, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», Ленинградском отделении филиала «Северо-Западный ТО» ФГУП «ФЭО») филиале АО «Концерн Росэнергоатом» Белоярская АЭС, АО «ИРМ» на основе комплексной системы экологического мониторинга. Этап 3.1. Обследование и анализ состояния систем ОМСН на текущий момент времени, методик первичной обработки данных; экспертная оценка существующего состояния систем ОМСН и разработка заключений/рекомендаций по ведению ОМСН в ФГУП «Базальт», ФГУП «ПСЗ», АО «ОДЦ УРГ», ФГУП «РАДОН». В 4-х частях. Часть 4. ФГУП «РАДОН». ФГБУ «Гидроспецгеология», Москва, 2021 г.
2. Кузаев А.А., Семенов М.Е., Соколова О.В. и др. Оценка долговременных последствий химического и радиоактивного загрязнения компонентов окружающей среды в границах зон возможного влияния объектов ядерного наследия в северо-западном атомно-промышленном комплексе (филиале АО «Концерн Росэнергоатом» Ленинградская АЭС, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», Ленинградском отделении филиала «Северо-Западный ТО» ФГУП «ФЭО»), филиале АО «Концерн Росэнергоатом» Белоярская АЭС, АО «ИРМ» на основе комплексной системы экологического мониторинга. Этап 8.1. Разработка геомиграционной модели для ФГУП «РАДОН» (г. Сергиев Посад) и оценка долговременных последствий химического и радиоактивного загрязнения подземных и поверхностных вод в границах зон возможного влияния объектов ядерного наследия. ФГБУ «Гидроспецгеология», Москва, 2022 г.
3. Грабовников Л.В., Денисова С.В., Макарова Н.Б. Проектная документация. Проект «Создание системы ОМСН на территории НПК-СПФ ФГУП «РАДОН». Книга 1. «Пояснительная записка» с изменениями №1 к проекту, ФГБУ «Гидроспецгеология», Москва, 2023 г.
4. Кузаев А.А., Гончаренко Д.Б., Соколова О.В. и др. Оценка долговременных последствий химического и радиоактивного загрязнения компонентов окружающей среды в границах зон возможного влияния объектов ядерного наследия в ФГУП «РАДОН» (Кирово-Чепецкое отделение Приволжского филиала, НПК – Сергиево-Посадский филиал), филиалы АО «Концерн Росэнергоатом» (Нововоронежская АЭС, Курская АЭС, Ростовская АЭС), АО «АЭХК» на основе комплексной системы экологического мониторинга. Этап 5.2. Актуализация геомиграционной модели и оценка долговременных последствий химического и радиоактивного загрязнения подземных и поверхностных вод в границах зон возможного влияния объектов ядерного наследия для ФГУП «РАДОН» (НПК – Сергиево-Посадский филиал). ФГБУ «Гидроспецгеология», Москва, 2024 г.



ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК: РАСЧЕТ СКОРОСТИ ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Петровская А.С., Цыганов А.Б.

Общество с ограниченной ответственностью «ИнноПлазмаТех», г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: anita3425@yandex.ru

Аннотация:

Предлагается принципиально новый подход решения проблемы дезактивации металлоконструкций реакторных установок и облученного реакторного графита – «сухая» ионно-плазменная технология дезактивации, позволяющая удалять радиационные поверхностные загрязнения любого химического состава с дезактивируемой проводящей поверхности с последующим их осаждением в виде твердого осадка на электроды коллекторы. Получены величины скоростей ионного распыления радиоактивных отложений с поверхности парогенератора ВВЭР.

Ключевые слова:

вывод из эксплуатации, дезактивация реакторных установок (РУ), внутриконтурное оборудования, парогенераторы, металлоконструкции реакторных установок (РУ), реакторный графит, ионно-плазменная технология.

Предлагаемая ионно-плазменная технология имеет применение для решения актуальной задачи ядерной энергетики: дезактивации оборудования реакторных установок при выводе из эксплуатации и при плановых ремонтах, а также для дезактивации облученного реакторного графита. Радиационные загрязнения внутренних поверхностей трубопроводов реакторных установок вызваны активированными продуктами коррозии, в частности, Co, Fe, Mn, Cr, Ni, Ti и продуктами деления ядерного топлива Cs, Ce, Ru, Eu вследствие их переноса теплоносителем. Химический состав радиоактивных отложений сложен, а величины его активности зависят от времени и режимов эксплуатации реакторной установки и конструкционных материалов. Наиболее часто встречающиеся загрязнения поверхностей металлоконструкций включают оксиды металлов и шпинели: $\text{Ni}_n\text{Cr}_m\text{Fe}_{(3-n-m)}\text{O}_4$, где $n = 0 \div 2$, $m = (2 - n)$, $\text{Ni}_n\text{Fe}_{(3-n)}\text{O}_4$ (где $n = 0 \div 2$), $(\text{CoO})_x(\text{NiO})_y(\text{FeO})_{(1-x-y)}\text{Fe}_2\text{O}_3$, где $1 > y > x$, химический состав отложений парогенератора ВВЭР содержит компоненты Fe_2O_3 (51.8%), CuO (37.7%), NiO (7.3%), ZnO (0.1%), MnO_2 (0.3%), CrO_3 (0.1%) - в единицах % масс. [1].

Наиболее распространенным подходом для удаления радиоактивных отложений с поверхностей металлоконструкций реакторных установок и внутриконтурного оборудования являются химические технологии дезактивации [2] в сочетании с ультразвуковыми, электролитическими воздействиями, которые имеют ряд существенных недостатков: 1) увеличение объемов жидких вторичных РАО, 2) необходимость в выборе типа раствора, его концентрации и режима дезактивации в зависимости от характера радиоактивного отложения и конструкционного материала, 3) возможное разрушение дезактивируемой поверхности.

Разрабатываемая ионно-плазменная технология дезактивации основана на применении укороченного разряда (длина разрядного промежутка порядка 1–2 мм) в инертном газе (аргон), зажигаемого между обрабатываемой поверхностью (катодом) и электродом коллектором (анодом) при давлении 0.1–1 атм. Удаление поверхностных радиоактивных отложений осуществляется за счет их распыления ионами аргона с последующим их осаждением на электроде – коллекторе распылительного устройства в виде твердого осадка, при этом не происходит разбавления или увеличения вторичных РАО и распыленный слой атомов поверхностного радиоактивного загрязнения переносится на электрод-коллектор.

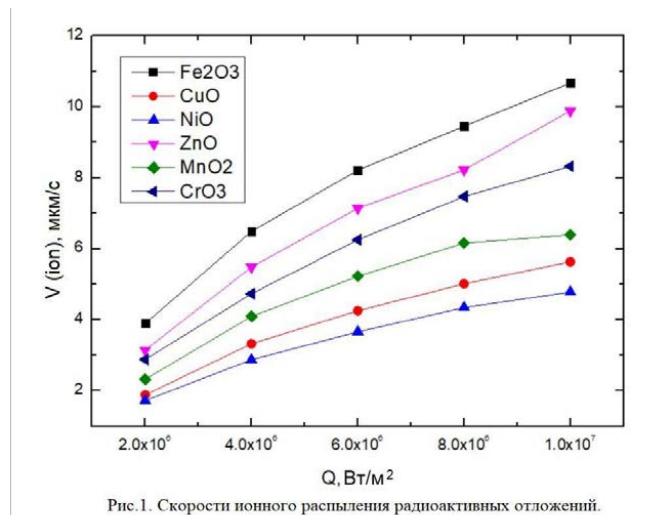
Распылительное устройство может быть реализовано в виде мобильной портативной распылительной ячейки, содержащий корпус, систему охлаждения и изоляции, электрод коллектор, систему отвода и подвода инертного газа, которая передвигается по дезактивируемой поверхности, что позволяет производить дезактивацию на месте расположения реакторной установки. Для дезактивации внутренней поверхности трубопровода сменный электрод-коллектор распылительного устройства представляет собой пластину, по форме подобную внутренней поверхности трубопровода.

Нами экспериментально подтверждены рабочие параметры технологии: давление инертного газа 0.1-1 атм.,

плотность тока разряда $0.01-1 \text{ А/см}^2$, напряжение на разрядном промежутке $100-1000 \text{ В}$, разрядный промежуток $0.1-2 \text{ мм}$. Технология ионно-плазменной дезактивации запатентовано нами совместно с ГК «Росатом» [3].

В данной статье получены величины скорости ионного распыления радиоактивных отложений (Fe_2O_3 , CuO , NiO , ZnO , MnO_2 , CrO_3) с поверхности парогенератора ВВЭР в зависимости от мощности, вкладываемой в разряд. На Рис.1 представлены зависимости величин скоростей ионного распыления радиоактивных отложений в зависимости от вкладываемой мощности в разрядный промежуток.

Рис.1. Скорости ионного распыления радиоактивных отложений.



Полученные значения скоростей ионного распыления (2-10) мкм/с получены для дальнейшей оценки времени дезактивации конструкции реакторной установки в зависимости от обрабатываемой площади поверхности и толщины удаляемого слоя радиоактивных отложений, при этом время дезактивации зависит от длительности экспозиции разряда и вкладываемой в разряд мощности.

Ключевые преимущества ионно-плазменной технологии: 1) отсутствие жидких радиоактивных отходов, 2) сокращение вторичных РАО в 10-ки раз и, как следствие сокращение экономических затрат, 3) дезактивация поверхности с радиоактивными отложениями любого химического состава, 4) радиоактивное отложение осаждается в форме твердого осадка на электроде-коллекторе для последующего компактного захоронения, 6) мобильность технологии, дезактивация возможна на месте расположения реакторной установки.

Ионно-плазменная технология имеет применение и для дезактивации облученного реакторного графита: механизм ионного распыления используется для удаления, локализованного на поверхности графитовых блоков углерода-14, а механизм термической диффузии осуществляет прогрев блока ($25 \text{ см} \times 25 \text{ см} \times 60 \text{ см}$) графитовой кладки РБМК в дезактивационной камере в среде инертного газа и обеспечивает выход на поверхность радионуклидов из объема без разрушения структуры блока – графитовой матрицы. Экономический эффект от внедрения технологии для Российской Федерации при решении проблем вывода из эксплуатации 11 блоков реакторов РБМК может составить более 400 млрд.руб.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00321, <https://rscf.ru/project/24-29-00321/>

Список литературы

1. Гусев, Б.А. Разработка и совершенствование технологий очистки контуров ЯЭУ с водяным теплоносителем от продуктов коррозии: дис. на соиск. учен. степ. доктора. техн. наук:05.14.03 / Гусев Борис Александрович; ФГУПНИТИ им. А.П. Александрова. - Сосновый Бор, 2014. 198 с.
2. Алешин, А.М. Химическая дезактивация первых контуров транспортных ЯЭУ / А.М. Алешин А.М., А.А. Змитродан, В.В. Кривобоков, С.Н. Орлов // Атомная энергия. - 2021. - т. 132, вып.8. - С. 88
3. А.Б. Цыганов, А.С. Петровская, М.Р. Стахов, Способ дезактивации элемента конструкции ядерного реактора: № 2711292: заявл. 21.11.2018 : опубл. 16.01.2020, заявка EP 19888171.6, US 20210272715, CA3105179A1, KHP CN112655056A.



ОБ ОСТЕКЛЫВАНИИ КУБОВОГО ОСТАТКА АЭС С ВВЭР-1200

**Сорокин В.Т.¹, Смола Е.И.¹, Рябков Д.В.², Скриган И.Н.², Кашеев В.А.³,
Сунцов Д.Ю.³**

¹ АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург, Россия

² АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: ilya.skrigan@khlopin.ru

³ АО «ВНИИНМ», г. Москва, Россия

Аннотация: В докладе представлены результаты предварительного анализа существующих и перспективных технологий переработки и кондиционирования кубовых остатков (КО) на АЭС. Рассмотрены возможность и целесообразность использования технологии остекловывания для отверждения КО АЭС, разрабатываемой для высокоактивных отходов радиохимических производств.

Ключевые слова: кубовый остаток (КО), цементирование, ионоселективная сорбция, остекловывание, кондиционирование, захоронение.

На российских АЭС для переработки КО используются ионоселективная очистка и глубокое упаривание с последующим цементированием. Применяемые технологии различаются характеристиками конечных продуктов переработки, оборудованием и стоимостными показателями, и не в полной мере отвечают современным требованиям. Достоинства и недостатки технологии цементирования и ионоселективной очистки кубового остатка представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Достоинства и недостатки технологий цементирования
и ионоселективной очистки кубового остатка**

Цементирование	Ионоселективная очистка
Достоинства	
Относительная простота процесса цементирования растворов	Использование гидрометаллургических процессов
Простая система газоочистки	Высокое концентрирование радионуклидов в объеме упаковки
	Чистота конечных продуктов технологии - сухих солей возможность выделения и возврата борной кислоты в цикл полезного использования (не на АЭС)
Недостатки	
Сложная технология подготовки растворов к цементированию из-за содержания тетраборатов	Необходимость контроля и ограничения в КО общего солесодержания не более 110 г/дм ³ и содержания боратов не более 50 г/дм ³
Включения в состав цементного компаунда не более 25 % солей. Увеличение объема отходов.	Необходимость контроля за содержанием ¹³⁷ Cs в сорбенте с целью обеспечения соответствия упаковки требованиям к упаковкам РАО класса 3 по постановлению Правительства и типу А в соответствии с НП-053.
Необходимость предварительного концентрирования КО методом глубокого упаривания	Ограниченный ресурс фильтроэлементов, наличие шламов, проблемы обращения с нерадиоактивными химически вредными солями

В качестве альтернативы может быть предложено использование технологии остекловывания КО.

При рассмотрении технологии остекловывания КО применительно к проекту АЭС-2006, аналогичному

Ленинградской АЭС-2, принято, что при нормальной эксплуатации одного энергоблока АЭС ожидается образование примерно 25 м³/год КО с содержанием около 400 г/дм³. Максимальная активность кубового остатка может достигать 5·10² МБк/дм³. Радионуклидный состав: ¹³⁷Cs ~ 97,5%, ⁶⁰Co ~ 2%, другие радионуклиды – менее 1%.

В настоящее время разрабатываются различные типы печей для остекловывания высокоактивных отходов, образующихся на радиохимических предприятиях отрасли при переработке отработавшего ядерного топлива.

В табл. 2 представлены типы и характеристики печей, разрабатываемых предприятиями отрасли для остекловывания ЖРО, которые могут быть прототипами для установок остекловывания кубовых остатков АЭС с ВВЭР-1200. Это индукционные плавители с холодным тиглем (ИПХТ), индукционные плавители с горячим тиглем (ИПГТ) и индукционные плавители с горячим тиглем контейнером (ИПГТК).

Таблица 2 – Характеристики электропечей

Показатели печи	Тип печи			
	ИПХТ, НПФ «Сосны» +РИ	ИПХТ, ВНИИНМ (АО «СХК»)	ИПГТ, РИ (АО «СХК»)	ИПГТК, РИ (ПРК)
Производительность по стеклу, кг/ч	12	До 7	До 7	2
Диаметр плавителя, мм	630	300	250	200
Мощность, кВт	420	60	20	25
Частота, кГц	440	1760	10	66

В качестве прототипа для остекловывания КО АЭС наиболее перспективными могут рассматриваться малогабаритные электропечи с производительностью до 7 кг/ч по стеклу. К таким печам можно отнести печи ИПХТ (разработчик АО «ВНИИНМ»), ИПГТ и ИПГТК (разработчик АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина»).

Характеристика возможных прототипов установки остекловывания КО представлена в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристики возможного прототипа установки остекловывания кубового остатка АЭС с ВВЭР-1200 с использованием ИПХТ, ИПГТ и ИПГТК

№ п/п	Наименование	ИПХТ	ИПГТ	ИПГТК
1.	Место размещения экспериментального образца установки	АО «ВНИИНМ», РХЗ АО «СХК»	АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина», РХЗ АО «СХК»	АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина»
2.	Назначение установки	В АО «ВНИИНМ» - остекловывание различных имитаторов РАО (ж. и тв.) в том числе имитатора КО АЭС. В АО «СХК» - остекловывание реальных ЖРО САО.	В АО «СХК» - остекловывание реальных ЖРО САО.	Остекловывание имитаторов ВАО, экспериментальные исследования
3.	Опыт эксплуатации установки	Опыт эксплуатации полномасштабного макета опытно-промышленной установки в АО «ВНИИНМ» с 2015 г. Установка остекловывания ЖРО с ИПХТ на РХЗ АО «СХК», созданная по проекту «Регенерат», переведена в статус промышленной в 2021 г.	Установка остекловывания ЖРО с ИПХТ на РХЗ АО «СХК», созданная по проекту «Регенерат», переведена в статус промышленной в 2021 г.	Опыт эксплуатации полномасштабного макета опытно-промышленной установки в АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина» с 2021 г.
4.	Уровень готовности технологии	TRL 9	TRL 9	TRL 7
5.	Технология остекловывания и стекломатрица	Предварительная подготовка пасты на основе бентонитовой глины, метабората натрия и ЖРО. Либо смешение стеклофритты и ЖРО. Боросиликатное стекло.	Смешение в печи стеклофритты и ЖРО. Боросиликатное стекло.	



В табл. 4 представлены предварительные результаты сравнения основных показателей рассмотренных методов переработки КО при производительности 25 м³/год с содержанием около 400 г/дм³.

Таблица 4 – Основные показатели методов переработки КО АЭС с ВВЭР-1200

Показатель	Методы переработки КО		
	Цементирование	Ионоселективная очистка	Остекловывание
Объем отвержденных отходов, м ³ /год	32,5	2,5 (термоксид-35) 10 (нерадиоактивная соль)	6,2 – 10,0
Изменение объема отходов	Увеличение 1,3	Уменьшение в 2,0	Уменьшение в 2,5 – 4,0
Количество упаковок, шт.	25 НЗК	~ 20 ФК 50 мет. бочек	6,9 - 11 НЗК
Внешний объем упаковок, м ³ /год	92,5	14,5 (ФК) 10 (мет. бочки)	25,5 – 40,7
Характеристика формы: Выщелачиваемость, г/см ² ·сут Плотность, г/см ³ Рад. стойкость, Гр	1·10 ⁻³ 2,0 1·10 ⁶	- 1,1 -	1·10 ⁻⁶ 2,5 1·10 ⁸
Потребность в реагентах и материалах	Щелочь, нитрат кальция, портландцемент, бентонит	Сорбент, кислота, фильтрующие элементы	Стеклообразователи (в зависимости от технологии остекловывания)

Анализ данных таблицы 4 показывает, что цементирование КО приводит к увеличению объема отвержденных отходов в 1,3 раза. Метод ионоселективной очистки снижает объем отходов в 2 раза. Метод остекловывания позволяет сократить объем отвержденных отходов в 2,5-4,0 раза в зависимости от исходного химического состава КО. Метод остекловывания позволяет также переработать незначительное количество шламов, образующихся в технологии обращения с РАО. Остеклованная форма отходов позволяет рассматривать стекломатрицу как эффективный защитный барьер, наиболее полно отвечающий критериям приемлемости отходов для захоронения.

В тоже время, говорить о наибольшей эффективности технологии остекловывания КО, по сравнению с другими методами, можно будет только после проведения комплексного технико-экономического исследования с учетом всех стадий обращения, включая переработку и кондиционирование КО, хранение, транспортирование и захоронение.

Развитие плазменной технологии переработки твердых радиоактивных отходов

Полканов М.А. Кадыров И.И.

НПК — Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН», г. Сергиев Посад МО, Российская Федерация

E-mail: MAPolkanov@radon.ru

- Аннотация:** В докладе приведены результаты эксплуатации установки плазменной переработки твердых радиоактивных отходов «Плутон», описаны работы, направленные на совершенствование плазменной технологии, и результаты математического моделирования, газодинамических и теплофизических расчетов моделей шахтной печи и камеры сжигания пирогаза.
- Ключевые слова:** твердые радиоактивные отходы (ТРО), плазменно-пиролитическая переработка, коэффициент сокращения объема ТРО, плазмотрон, морфология отходов, огнеупорные материалы, кондиционирование радиоактивных отходов, критерии приемлемости РАО для захоронения, высокотемпературные аппараты, математическая модель, газодинамические расчеты, теплофизические расчеты.

С 2007 года во ФГУП «РАДОН» введена в эксплуатацию опытно-промышленная установка плазменной переработки РАО «Плутон», основанная на технологии глубокой термической конверсии твердых радиоактивных отходов смешанной морфологии с использованием плазменных источников нагрева. Технология позволяет получать в одну стадию стеклоподобный продукт, надежно фиксирующий радионуклиды и пригодный для долговременного безопасного хранения и захоронения.

Еще на стадии опытных работ, продолжавшихся около 15 лет, были определены возможности переработки различных морфологических групп отходов, включающих широкий спектр как горючих, так и негорючих компонентов. Плазменная технология применима не только для ТРО, накопленных ранее в хранилищах и образующихся при эксплуатации и выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии, но и твердых коммунальных, промышленных, медицинских и фармацевтических отходов.

Концепция переработки ТРО в шахтной печи отличается от действующих зарубежных плазменных технологий и позволяет ограничить унос радиоактивных изотопов цезия из печи.

На переработку на установку «Плутон» поступают, согласно условиям действия лицензии, РАО очень низкого и низкого уровней активности. Продуктом плазменной переработки РАО является плавный шлак, обладающий высокой химической стойкостью, кондиционируемый в невозвратных защитных контейнерах. Для передачи плавного шлака во ФГУП «Национальный оператор» разработаны и согласованы карта контроля процесса переработки и критерии приемлемости продукта плазменной переработки ТРО 3 и 4 классов для захоронения.

В результате плазменной переработки ТРО на установке «Плутон» обеспечивается сокращение объема РАО в десятки раз, снижение потребности в сертифицированных контейнерах и экономия объема хранилищ радиоактивных отходов, исключаются дополнительные операции переработки отходов. Средние коэффициенты сокращения объема ТРО, с учетом кондиционирования продукта в защитных контейнерах перед захоронением, составляют $20 \div 25$ для продукта 4 класса и $10 \div 12$ для продукта 3 класса, размещаемого в контейнерах НЗК-150-1,5П. При плазменной переработке ТРО, поступающих в прессованном виде в бочках, конечный объем снижается в 10 раз.

Сортировка РАО по морфологии и классификация по радиационным показателям в местах их образования существенно снижает затраты на обращение с радиоактивными отходами, образующимися при эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов.

С 2019 года выполнена серия научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на оптимизацию конструкции шахтной печи и режимов плазменной переработки ТРО на установке «Плутон». Соисполнителем работ выступил Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси. НИОКР включали математическое моделирование, выполнение газодинамических и теплофизических расчетов и проведение практических экспериментов на макетах плавителя различной конфигурации. В результате выполнения расчетных и экспериментальных работ выявлены недостатки в конструкции и режимах эксплуатации высокотемпературных аппаратов установки «Плутон» – шахтной печи и камеры сжигания пирогаза.

Работы финансировались из специального резервного фонда № 3 Госкорпорации «Росатом». Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ будут использованы как для совершенствования плазменно-пиролитической технологии на установке «Плутон», так и создания перспективной установки плазменной переработки радиоактивных отходов различной морфологии.



РАДОН
РОСАТОМ

ДЕЛАЕМ МИР ЧИЩЕ И БЕЗОПАСНЕЕ

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Объединенный эколого-технологический
и научно-исследовательский центр по обезвреживанию
РАО и охране окружающей среды»
(ФГУП «РАДОН»)

119121, Москва, 7-й Ростовский пер, 2/14
тел.: +7 (495) 545-57-67
E-mail: info@radon.ru
www.radon.ru

