

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора  
по научной работе ИФХЭ РАН

 Е.А. Кулюхин

«14» мая 2026 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН) на диссертационную работу Осташкиной Елизаветы Евгеньевны на тему «**Научно-технологическое обоснование кондиционирования отработавших ионообменных смол методом включения в полимерное связующее**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (технические науки)

### **Актуальность работы**

Диссертационная работа Осташкиной Елизаветы Евгеньевны посвящена весьма важной и актуальной теме - научно-технологическому обоснованию кондиционирования отработавших ионообменных смол (ОИОС) методом включения в полимерное связующее. Работа направлена на решение проблемы накопления большого количества техногенных вторичных радиоактивных отходов в виде отработавших ионообменных смол на предприятиях отечественной атомной отрасли путем научно-технологического обоснования возможности усовершенствования разработанной технологии включения ОИОС в полимерное связующее на основе эпоксидных смол, с целью ее применения для кондиционирования реальных ОИОС АЭС с присутствием мелких фракций, а также обоснования соответствия получаемых полимерных компаундов требованиям к размещению в контейнеры для хранения в условиях пункта приповерхностного захоронения. Все это определяет актуальность темы диссертации.

### **Анализ содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и 1 приложения. Работа изложена на 157 страницах и содержит 48 рисунков и 37 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и определены задачи работы, сформулированы основные положения, выносимые на

защиту. Представлена информация о личном вкладе автора и апробации результатов.

В **главе 1** выполнен обзор мировых литературных данных по достоинствам и недостаткам методов переработки ОИОС с точки зрения сложности технологического оборудования, количества вторичных РАО и объема конечного продукта. Особое внимание уделено методам иммобилизации ОИОС в полимерную матрицу, отмечена радиационная устойчивость и оптимальные реологические свойства модифицированных эпоксидных смол. Описаны преимущества разработанной во ФГУП «РАДОН» технологии и установки включения ОИОС в полимерное связующее на основе эпоксидных смол методом пропитки, обусловленные однородностью и качеством получаемой матрицы. Выводы по главе обосновывают актуальность, цель и задачи работы.

В **главе 2** представлено описание объектов исследования, параметров и методов их контроля и оборудования, использованного при выполнении настоящей диссертационной работы. Разработаны и аттестованы методики испытания образцов ОИОС и полимерного компаунда: измерение содержания свободной жидкости в ионообменной смоле, определение показателей качества полимерного компаунда (предела прочности, термической и радиационной стойкости, водоустойчивости). Разработан метод контроля водоустойчивости ОИОС по показателю скорости выщелачивания, а также метод контроля водоустойчивости и радиационной стойкости полимерного компаунда с включенными ОИОС по показателю изменения объема. Созданы лабораторные установки для испытаний образцов ОИОС и полимерного компаунда: для исследования процесса сушки ОИОС, для исследования процесса обезвоживания ОИОС способом вакуумирования и для контроля газовой выделенности полимерного компаунда.

В **главе 3** изложены результаты выбора метода предварительной обработки перед иммобилизацией ОИОС, имеющего целью удаление влаги. По результатам исследования метода сушки выявлена его низкая производительность (время процесса составляет от 4,5 до 24 ч) и высокая энергозатратность, а также увеличение объема высушенных ОИОС при увлажнении более чем на 48 % и полимерного компаунда с ними – до 40,3 %, сопровождающееся разрушением компаунда при большом проценте включения ОИОС. Предварительная обработка ОИОС методом обезвоживания вакуумированием в течение 30 минут обеспечивает получение полимерного компаунда без признаков увеличения объема и разрушения при выдержке в воде, а скорость выщелачивания обезвоженных ОИОС, в том числе после термического и радиационного воздействия, соответствует требованиям НП-019-15. По результатам исследований обезвоживание выбрано в качестве метода предварительной обработки ОИОС перед включением в полимерный компаунд.

В **главе 4** представлены результаты выявления изменений свойств полимерного компаунда на основе обезвоженных ОИОС при размещении в условиях приповерхностного хранения. Для моделирования дозовых и температурных

нагрузок в условиях ППЗРО образцы подвергали облучению дозой до  $10^6$  Гр и циклическому температурному воздействию в диапазоне от 0 до 100 °С. Механическая прочность компаунда превышала 12,6 МПа и увеличивалась после термического и радиационного воздействия, что объясняется доотверждением (сшивкой) его эпоксидной основы по радикальному механизму. Скорость выщелачивания образцов соответствовала нормативным значениям для Cs<sup>137</sup> после термического и радиационного воздействия уже в первые сутки, а для H<sup>3</sup> – на 1-3 сутки. Механическая прочность, водоустойчивость и радиационная стойкость полимерного компаунда оставалась в пределах нормативных значений после 2 лет временного хранения в условиях ППЗРО и 5-8 лет лабораторного хранения. Для исключения деструктивных процессов химического взаимодействия между компонентами РАО и материалами контейнера, радиолитиза воды и радиационных изменений материалов было исследовано газовыделение компаунда, которое отсутствовало при твердении и хранении, а газовая фаза не содержала веществ, превышающих ПДК в воздухе рабочей зоны. Диапазон изменения объема в результате облучения (радиационная стойкость) образцов находилась в пределах нормативных требований (5 об. %). Результаты исследования говорят о сохранении структурной стабильности компаунда с включенными обезвоженными ОИОС, целостности упаковок и исключении выхода радиоактивности за их пределы, т. е. о безопасности хранения при дозовых и температурных нагрузках в условиях ППЗРО.

**В главе 5** представлены результаты обоснования технологических условий применения опытно-промышленной установки для кондиционирования реальных ОИОС АЭС с механическими примесями (шламы, перлит и т. д.) в количестве до 17 %. В технологическую схему установки включена операция отделения мелких фракций путем сгущения за счет разницы в плотностях ИОС и воды при транспортировке насосом из емкости хранения в контейнер. Показано соответствие полученного полимерного компаунда с включенными реальными ОИОС Калининской АЭС требованиям НП-019-15 и НП-093-14 по показателям механической прочности, термической и радиационной стойкости, а также результаты анализа газовой фазы и испытаний пожароопасности.

**В главе 6** выполнено научно-технологическое обоснование промышленного внедрения кондиционирования ОИОС методом включения в полимерное связующее, которое заключается в обосновании безопасности получаемого ПК с включенными ОИОС в условиях ППЗРО, а также возможности применения установки для переработки реальных РАО атомных станций. Приведены обобщенные сравнительные результаты лабораторных исследований свойств полимерного компаунда с обезвоженными ОИОС при размещении в условиях приповерхностного захоронения и проведения технологического процесса кондиционирования ОИОС с присутствием мелких фракций.

**В заключении** диссертационной работы приведены основные результаты, полученные при ее выполнении.

Выполнено обоснование предварительной обработки ОИОС перед включением в полимерный компаунд методом обезвоживания, в ходе которого выявлено, что полимерный компаунд на основе обезвоженных ОИОС с остаточной влажностью 50 – 53 масс. % безопасен при хранении в условиях приповерхностного размещения.

Проведено исследование изменений свойств полимерного компаунда с включенными обезвоженными ОИОС, которое показало, что увеличение механической прочности и химической водоустойчивости полимерного компаунда при радиационных и термических нагрузках, характерных для размещения в условиях ППЗРО, происходит за счет доотверждения и сшивки его эпоксидной основы.

Установлено отсутствие процессов газообразования при хранении полимерного компаунда с включенными обезвоженными ОИОС, а также неизменность его объема при радиационном воздействии, что говорит об исключении химических и радиационных процессов деструкции в структуре компаунда.

Для переработки ОИОС атомных станций, характеризующихся присутствием мелких фракций, предложено применение технологической схемы опытно-промышленной установки кондиционирования, дооснащенной узлом отделения мелких фракций и узлом кондиционирования мелкой фракции методом цементирования. Показано, что применение данной технологической схемы позволяет выполнить переработку реальных ОИОС атомных станций с получением кондиционированного продукта, соответствующего нормативным требованиям.

**Теоретическая и практическая значимость** работы состоит в том, что:

- показано, что полимерный компаунд с иммобилизованными ОИОС РАО 3 класса, с предобработкой методом обезвоживания до остаточной влажности 50 - 53 масс. % и удельной активностью в интервале  $10^7$  -  $10^8$  Бк/кг при размещении в пункты приповерхностного захоронения характеризуется увеличением механической прочности и химической водоустойчивости за счет сшивки и доотверждения полимерного компаунда при хранении;

- установлено, что при размещении полимерного компаунда на основе обезвоженных ОИОС с остаточной влажностью 50-53 % в условиях пункта приповерхностного захоронения не происходит газовыделения и увеличения объёма за счет отсутствия химических и радиационных процессов деструкции;

- показана возможность отделения мелких фракций и переработки реальных ОИОС с АЭС путем добавления технологической операции промывки ОИОС и узла отделения мелкой фракции для реализации пропитки ОИОС в контейнере полимерным связующим;

- разработаны и аттестованы методики определения характеристик полимерного компаунда МИ-206-2022 (ФР.1.28.2022.44467), МИ-207-2022 (ФР.1.28.2022.44463), МИ-208-2022 (ФР.1.28.2022.44465), МИ-209-

2022 (ФР.1.38.2022.44462), позволяющие выполнить подтверждение соответствия компаунда нормативным требованиям;

- технология и установка кондиционирования адаптирована и апробирована для переработки реальных ОИОС АЭС и принята к применению на Калининской АЭС (Решение АО «Концерн «Росэнергоатом» от 06.08.2019 1.2.2.06.001.0526-2019), что позволило выполнить переработку реальных ОИОС АЭС в количестве 33,2 м<sup>3</sup>. Разработан проект привязки установки на Калининской АЭС, что позволит выполнить переработку всего объема смол, накопленных за годы ее эксплуатации.

#### **Достоверность и обоснованность результатов**

Достоверность полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью в процессе набора статистики, применением аттестованных методик измерений для определения физико-химических характеристик РАО и их радионуклидного состава, применением разработанных и аттестованных методик для определения показателей качества и критериев приемлемости полимерного компаунда, определением показателей пожароопасности полимерного компаунда в аккредитованной лаборатории.

По теме диссертации **опубликована** 21 печатная работа, из них 9 статей, в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных, 2 – в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций и 12 работ в материалах всероссийских и международных конференций. Получено 2 патента РФ. Все работы опубликованы в соавторстве. Опубликованные труды и автореферат полностью отражают содержание исследования.

#### **Замечания и вопросы по диссертационной работе**

В целом, диссертационная работа логично структурирована, написана хорошим, понятным языком, основная терминология использована корректно.

#### ***По работе имеются следующие вопросы и замечания:***

1. С.66 Не указаны характеристики облучательной установки РХМ-гамма-20 (тип излучения, мощность дозы и др.).
2. С.76. Обеспечивалось ли термостатирование лабораторной установки при изучении газовой выделении из образцов ПК с включенными ОИОС? Объем газа сильно зависит от температуры.
3. С.90 Строго говоря, величина скорости выщелачивания не связана с термической и радиационной стойкостью ПК, а определяется скоростью диффузии радионуклидов из состава матрицы.
4. С.115. Насколько корректно использование клиноптилолита в качестве имитатора перлита и шламов. Гранулометрический состав, морфология и плотность данных материалов значительно различаются.
5. В работе отсутствует сравнение экономических показателей отверждения ИОС методом пропитки эпоксидным компаундом, цементирования и битумирования.
6. Индекс атомной массы радионуклида указывается в верхнем регистре слева

от символа элемента, а не справа, как в диссертации.

Однако, приведенные выше вопросы и замечания не снижают научной значимости результатов работы и не влияют на положительную оценку диссертации, выполненной на высоком экспериментальном и научном уровне с использованием современных физико-химических методов анализа.

### **Заключение**

По тематике, методам исследования и полученным результатам диссертационная работа **Остапкиной Елизаветы Евгеньевны** на тему «Научно-технологическое обоснование кондиционирования отработавших ионообменных смол методом включения в полимерное связующее» соответствует паспорту научной специальности 2.6.8 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов, а именно - следующим областям исследований, предусмотренным паспортом этой специальности: 3. Способы утилизации техногенного и вторичного сырья; 10. Снижение отходности производств, фиксация отходов в виде малоподвижных, безопасных для окружающей среды соединений или трансформация их в безопасное состояние..

Также работа удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, определенным Положением о порядке присуждения ученых степеней в РХТУ им. Д.И. Менделеева, утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Отзыв обсужден и единогласно одобрен на заседании межлабораторного коллоквиума лаборатории хроматографии радиоактивных элементов и лаборатории физико-химических методов локализации радиоактивных элементов ИФХЭ РАН (протокол № 1 от 14.05.2026 г.).

Отзыв составил: Кононенко Олег Анатольевич, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН).



*подпись*

14.05.2026 г.

*Дата подписания*

Контактная информация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН); 119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4 Тел.: +7 (495) 955 46 01; e-mail: [dir@phyche.ac.ru](mailto:dir@phyche.ac.ru)

Подпись научного сотрудника лаборатории хроматографии радиоактивных элементов ИФХЭ РАН Кононенко Олега Анатольевича удостоверяю:

Зав. канцелярией ИФХЭ РАН



Емельянова Н.А.