

В ходе эксплуатации объектов атомной энергетики образуется большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Значительную долю в их количестве составляют отработавшие ионообменные смолы (ОИОС). На атомных электростанциях (АЭС) в Российской Федерации накоплено более 30 тысяч кубометров ОИОС, а на предприятиях Атомфлота - более 2 тысяч кубометров. Соотношение количества накопленных на объектах радиоактивных отходов показано на рисунке 1.

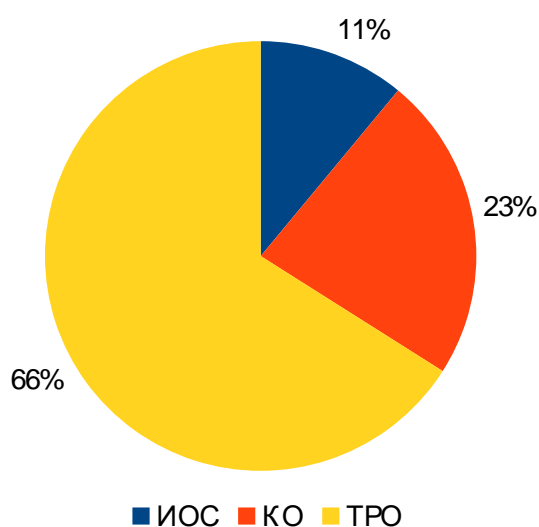


Рисунок 1 - Соотношения видов РАО, %

Количество накопленных РАО на объектах атомной отрасли постоянно растет. Общее количество ежегодно образующихся РАО показано на рисунке 2.

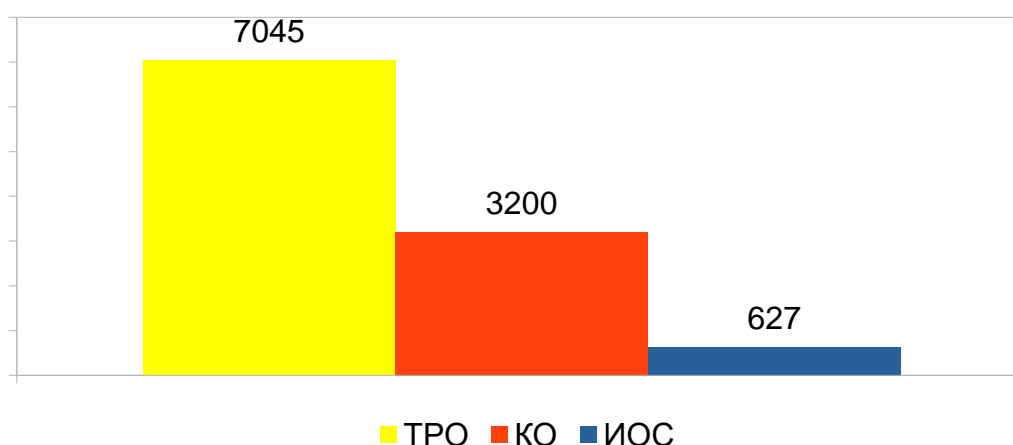


Рисунок 2 - Ежегодное образование РАО на АЭС, куб. м.

Свободные объемы для хранения ОИОС на всех объектах практически исчерпаны. Значительная доля ОИОС в общем количестве накопленных ЖРО исключает возможность их совместной переработки. Для переработки ОИОС необходимо создавать специализированные установки. Переработка ОИОС выполняется в небольших масштабах и только на опытно-промышленных установках. Промышленных установок для переработки ОИОС в России на данный момент не существует.

С целью решения проблемы обращения с накопленными ОИОС во ФГУП «РАДОН» разработана технология, а также разработана, изготовлена и испытана опытно-промышленная установка обезвоживания и включения ОИОС в полимерный компаунд непосредственно в контейнере для захоронения методом пропитки.

Внешний вид опытно-промышленной установки в ходе кондиционирования ОИОС показан на рисунке 3.



Рисунок 3 — Общий вид установки кондиционирования ОИОС

Установка выполнена в мобильной комплектации, что позволяет осуществлять кондиционирование ОИОС в местах их образования или хранения.

Установку в виде отдельных узлов доставляют спецтранспортом на объекты Заказчика, монтируют на объекте, подключают к инженерным сетям и производят кондиционирование ОИОС.

Основные характеристики установки указаны в таблице 1.

Таблица 1 Основные технические характеристики установки

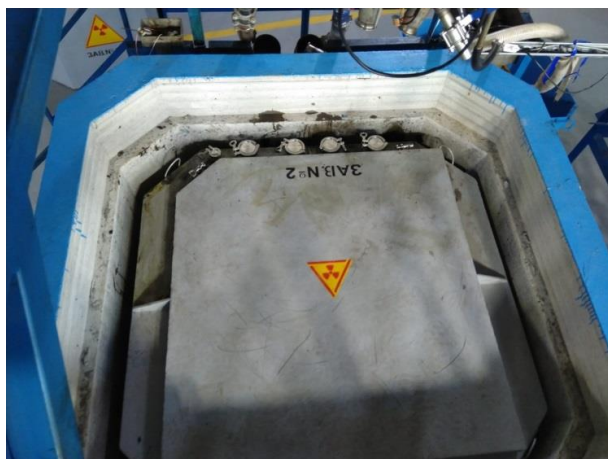
Производительность установки, м ³ /час	0,4, не менее
Содержание свободной жидкости в обезвоженной ИОС, масс. %	3, не более
Содержание ИОС в полимерном компаунде, масс. %	60, не менее
Режим работы установки	периодический;
Класс безопасности установки	3Н;
Тип исходных РАО	Пульпы отработавших ионообменных смол;
Радионуклидный состав, Бк/кг:	
¹³⁷ Cs	1·10 ⁸ , не более
⁶⁰ Co	3·10 ⁷ , не более
α-излучающие нуклиды	1·10 ⁵ , не более
Класс кондиционированных РАО, подготовленных к захоронению и тип упаковки:	
среднеактивные	класс 3, контейнер НЗК 150-1,5П
низкоактивные	класс 4, контейнер типа КМЗ

Производительность установки, ее мобильное исполнение и возможность тиражирования позволяют в обозримые сроки выполнить кондиционирование накопленных ОИОС на предприятиях атомной отрасли, а также решить проблему обращения со вновь образующимися РАО данного типа.

Продуктом кондиционирования ОИОС с использованием установки являются упаковки на основе сертифицированных контейнеров с полимерным компаундом, представляющим собой матрицу на основе эпоксидных смол российского производителя с включенными ионообменными смолами. Получаемые упаковки соответствуют требованиям нормативной документации по показателям качества и критериям приемлемости для захоронения. К 2024 г. на

установке кондиционировано 23 м³ ИОС ФГУП «РАДОН» и Калининской АЭС.

Внешний вид упаковок кондиционированных ОИОС и продукта кондиционирования (керн, отобранного из упаковки) показан на рисунке 4.



а)



б)



в)

Рисунок 4 - Внешний вид упаковок кондиционированных ОИОС:
а - контейнер НЗК-150-1,5П со вставкой после пропитки ОИОС;
б - фрагмент металла, выбранный на крышке контейнера для отбора керна;
в - керн полимерного компаунда с включенными ОИОС.

Результаты сравнительного анализа применяемых в отечественной атомной отрасли технологий кондиционирования ОИОС представлены в таблице 2.

Таблица 2 Результаты сравнительного анализа технологий кондиционирования ОИОС

Наименование технологии	Удельная активность и наличие сертифицированной упаковки	Производительность >100 л/час	Отсутствие необходимости переработки вторичных РАО	Соответствие конечного продукта нормативным требованиям
Обезвоживание	+	+	+	+
Сушка	-	-	+	-
Пиролиз	-	-	-	+
СКВО	+	-	-	+
Цементирование	+	+	+	+
Обезвоживание и включение в полимерное связующее	+	+	+	+

По результатам сравнительного анализа наиболее приемлемыми технологиями кондиционирования ОИОС можно считать цементирование, а также обезвоживание и включение в полимерное связующее; преимуществом последней является высокая степень включения ОИОС в компаунд.

Выполнена технико-экономическая оценка затрат при кондиционировании ОИОС с применением указанных технологий при условии их реализации во ФГУП «РАДОН».

Расчет производился на 1 куб. м. ОИОС по методике, принятой на ФГУП «РАДОН», в ценах 2021 г. с учетом тарифов ФГУП «НО РАО» на хранение в течение 5 лет. По литературным данным и результатам практических испытаний величину содержания обезвоженных ОИОС в цементном компаунде принимали 10 масс. %; в полимерном компаунде — 55 масс. %.

Результаты расчета показаны в таблице 3.

По результатам расчета, наименьшая величина затрат на 1 м³ ОИОС характерна для технологии обезвоживания, среднее значение затрат - для обезвоживания и включения в полимерное связующее, и максимальное - для цементирования. Это говорит о экономическом преимуществе технологии обезвоживания ОИОС и включения в полимерное связующее.

Таблица 3 Расчет затрат на кондиционирование 1 куб. м. ОИОС с использованием различных технологий, руб.

№ п/п	Наименование статей затрат	Миниблочная растворосмесительная установка (Цементирование)	Установка кондиционирования отработавших радиоактивных ОИОС (Обезвоживание)	Установка кондиционирования отработавших радиоактивных ОИОС (Включение в полимерное связующее)
1	Затраты на оплату труда основных производственных работников	103 072,40	14 728,23	17 828,13
2	Затраты на отчисления страховых взносов во внебюджетные фонды	35 354,01	5 051,82	6 115,08
3	Затраты на материалы	361 430,67	40 828,83	273 705,71
4	Командировочные расходы	0,00	0,00	0,00
5	Услуги сторонних организаций	80 431,02	9 325,33	9 325,33
	ИТОГО:	580 288,10	69 934,21	306 974,25
	Накладные расходы 332% от ФОТ	342 200,37	48 897,72	59 189,39
	ИТОГО:	922 488,47	118 831,93	366 163,64
	Прибыль 15 %	126 308,62	16 425,99	53 525,75
	ИТОГО:	1 048 797,09	135 257,92	419 689,39
	НДС 20%	209 759,42	27 051,58	83 937,88
	ИТОГО:	1 258 556,51	162 309,50	503 627,27

Экономический эффект, полученный в результате внедрения установки, для каждого из предприятий отрасли может достигать нескольких сотен миллионов рублей ежегодно, при этом уровень эффекта определяется масштабом внедрения.

Требованиями НП - 093 -14 допускается захоронение неотвержденных РАО 3 класса, к которым относятся обезвоженные ИОС, но с условием, что РАО, направляемые на захоронение, должны соответствовать критериям приемлемости в определенном ПЗРО. В конкретном ПЗРО обязательным критерием приемлемости может являться необходимость отверждения РАО, как это имеет место в губе Сайда, где требуется отверждать ИОС перед сдачей на хранение.

Поэтому, несмотря на очевидную экономическую выгоду использования обезвоживания ИОС, необходимо создавать опытно - промышленные установки включения ИОС в матричный материал и обезвоживания с целью последующего

внедрения промышленных установок на объектах атомной энергетики.

По результатам разработки получены результаты интеллектуальной деятельности в виде следующих патентов на изобретения:

1. Устройство для кондиционирования радиоактивных ионообменных смол: патент № 2637380 от 05.12.2017.

2. Устройство для кондиционирования смеси радиоактивных ионообменных смол и шламов. Заявка № 2023121449, дата подачи заявки 16.08.2023. Решение о выдаче патента 07.12.2023.

По теме работы опубликовано шесть статей в научных журналах и рецензируемых изданиях, результаты работы представлены на пяти международных и шести всероссийских конференциях.

Установка кондиционирования отработавших ионообменных смол внедрена во ФГУП «РАДОН» в 2019 году, о чем имеется акт внедрения.

Установка эксплуатируется во ФГУП «РАДОН» в соответствии с технологическим регламентом ТП Рад/НПК К-25.01/2023 Кондиционирование отработавших ионообменных смол методом включения в полимерный компаунд. Установка кондиционирования отработавших ионообменных смол.

Установка включена в условия действия лицензии ФГУП «РАДОН» на право обращения с радиоактивными отходами при их переработке № ГН – 07-602-4249 от 21.06.2022.

В соответствии с Решением АО «Концерн Росэнергоатом» № Р 1.2.2.06.001.0526-2019 от 06.08.2019 на 2024 год запланирована переработка 185 м³ накопленных отработанных ионообменных смол Калининской АЭС с использованием установки. В настоящий момент производится разработка проекта привязки установки на территории АЭС.

Рассматривается возможность применения установки для переработки накопленных ОИОС АО «ИРМ», Нововоронежской и Ленинградской АЭС.