

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ

А. Е. Савкин, О. К. Карлина
ФГУП «РАДОН», Москва

Статья поступила в редакцию 30 января 2018 г.

В ФГУП «РАДОН» проведены испытания различных методов переработки и кондиционирования радиоактивных отработавших ионообменных смол (ИОС). Проведена оценка технологической приемлемости методов по следующим критериям: соответствие требованиям нормативных документов, удельная активность ИОС и наличие сертифицированной упаковки, производительность установки. Выбранным критериям соответствуют: обезвоживание, включение в полимерную матрицу и цементирование. Выполнено технико-экономическое сравнение выбранных технологий. Разработана, изготовлена и испытана на реальных ИОС полномасштабная опытная установка обезвоживания и включения ИОС в матричный материал непосредственно в контейнере для захоронения. С целью последующего внедрения промышленных установок на объектах атомной энергетики разработана рабочая документация на опытно-промышленную установку кондиционирования ИОС непосредственно в контейнере, в качестве которого в зависимости от удельной активности используют модернизированные контейнеры типа КМЗ или НЗК-150-1.5П.

Ключевые слова: ионообменная смола, АЭС, полимерное связующее, обезвоживание, цементирование.

В ходе переработки ЖРО на объектах атомной энергетики образуются концентраты (высоко-солевые ЖРО) и отработавшие фильтроматериалы, основными из которых являются ионообменные смолы (ИОС). Свободные объемы для их хранения на всех объектах России практически исчерпаны. В результате эксплуатации на АЭС России накоплено ~ 30 тыс. м³ ИОС при общем объеме накопленных ЖРО 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.

Экспериментальная часть

В ФГУП «РАДОН» проведены испытания различных методов переработки и кондиционирования радиоактивных отработавших ИОС,

используемых в мировой практике [1, 2]. Среди них испытаны как деструктивные методы (пиролиз, пероксидное окисление, сверхкритическое водное окисление), так и недеструктивные методы (деактивация, сушка, обезвоживание, включение в матричные материалы). Причем обезвоживание и включение в полимерное связующее проводили непосредственно в контейнере, который является прототипом контейнера для захоронения (рис. 1).

Контейнер имел две перегородки в нижней и верхней частях. Перегородки проницаемы для воды, полимерного связующего, воздуха и непроницаемы для ИОС. Размер отверстий на перегородке (сетке) менее 0,1 мм. Нижняя перегородка необходима для удаления транспортной (свободной) жидкости из пульпы ИОС, а верхняя — для удержания ИОС в контейнере при пропитке ее полимерным связующим. При обезвоживании ИОС в контейнере достаточно нижней перегородки, при обезвоживании и пропитке в контейнере должно быть две перегородки (рис. 1).

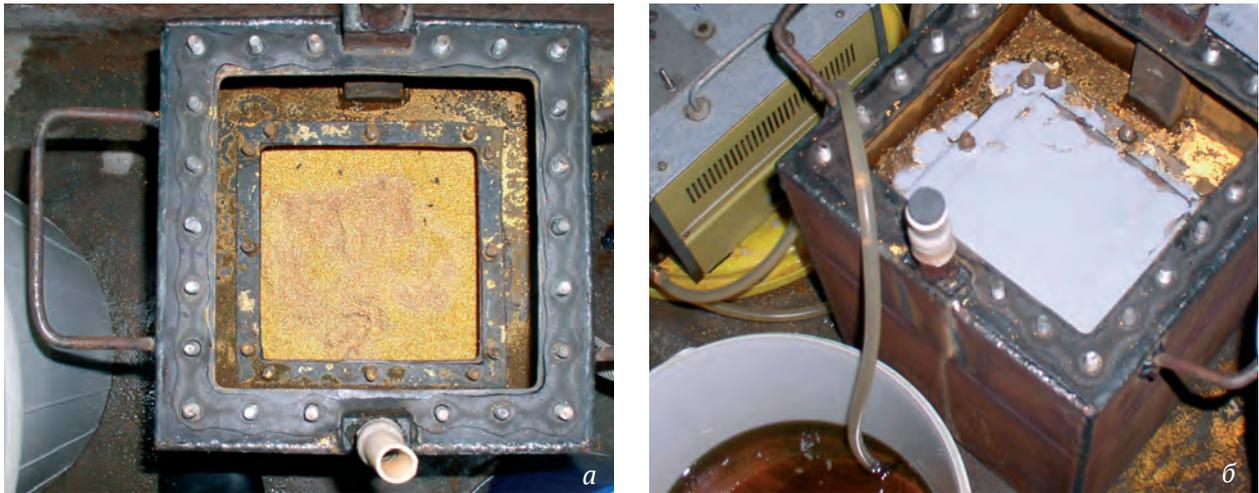


Рис. 1. Кондиционирование ИОС в контейнере: а – обезвоживание, б – включение в полимерное связующее

При обезвоживании ИОС удаление свободной жидкости происходило за счет вакуума, создаваемого под нижней перегородкой в контейнере. При пропитке ИОС компоненты полимерного связующего (эпоксидная смола, отвердитель) смешивали вне контейнера в проточном смесителе и подавали насосами под нижнюю перегородку контейнера. Полимерное связующее поднималось вверх, заполняя свободное пространство между частицами ИОС. При появлении полимерного связующего над верхней перегородкой контейнера подачу прекращали.

Опробованные технологии сравнили по следующим критериям оценки:

1. Соответствие нормативной документации (НП-093-14, НП-019-15) [3, 4].

Основными требованиями НП являются:

- содержание свободной жидкости в упаковке РАО должно быть менее 3% масс.;
- сохранение целостности упаковки в процессе хранения (захоронения).

Только сушка не соответствует требованиям НП, т. к. при хранении сухой ИОС возможно ее набухание за счет поглощения влаги через неплотности в контейнере и разрушение упаковки [2].

2. Удельная активность ИОС и наличие сертифицированной упаковки для захоронения.

Удельная активность накопленных на АЭС России ИОС находится в интервале 10^7 – 10^8 Бк/кг. В настоящее время только контейнеры КМЗ и НЗК сертифицированы для хранения и захоронения кондиционированных форм РАО. Для НЗК-150-1.5П максимальная активность, при которой МЭД на поверхности контейнера не превысит 10 мГр/ч [2, 3], равняется $1,1 \cdot 10^8$ Бк/кг (^{137}Cs – 50%, ^{60}Co – 50%), а для КМЗ – $1,6 \cdot 10^7$ Бк/кг. Следовательно, технологии, предполагающие существенное сокращение объема (пиролиз, сжигание и др.) и, как результат, увеличение удельной активности, не могут быть использованы из-за отсутствия сертифицированной упаковки для захоронения.

3. Производительность установки.

Как показывают расчеты [2], чтобы решить проблему накопленных и образующихся на АЭС России ИОС хотя бы за 10 лет, производительность установки на каждой АЭС должна составлять не менее $0,3 \text{ м}^3/\text{ч}$. Такую производительность могут иметь только установки обезвоживания, включения в полимерное связующее и цементирования. Термические установки не способны обеспечить такую производительность.

Итак, как показывает сравнение опробованных технологий, только обезвоживание, включение в полимерное связующее и цементирование отвечают всем выбранным критериям оценки.

Предварительный экономический анализ приемлемых технологий показывает, что при использовании КМЗ в качестве контейнера для кондиционированной ИОС, стоимости захоронения 40 тыс. руб./ м^3 (РАО 4 класса) и производительности установки $0,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ по ИОС, стоимость обращения составит, тыс. руб./ м^3 :

- при обезвоживании – 160;
- при обезвоживании и включении в полимерное связующее – 413;
- при цементировании – 507.

НП-093 хотя и допускает захоронение неотвержденных РАО 3 класса, к которым относятся обезвоженные ИОС, но с оговоркой. РАО, направляемые на захоронение, должны соответствовать критериям приемлемости в определенном ПЗРО. А в нем обязательным критерием приемлемости может являться необходимость отверждения РАО, как это имеет место в губе Сайда, где требуется отверждать ИОС перед сдачей на хранение. Тем более, что МАГАТЭ рекомендует отверждать ИОС перед захоронением [1].

Поэтому, несмотря на очевидную экономическую выгоду использования обезвоживания ИОС, необходимо создавать опытно-промышленные установки обезвоживания и включения

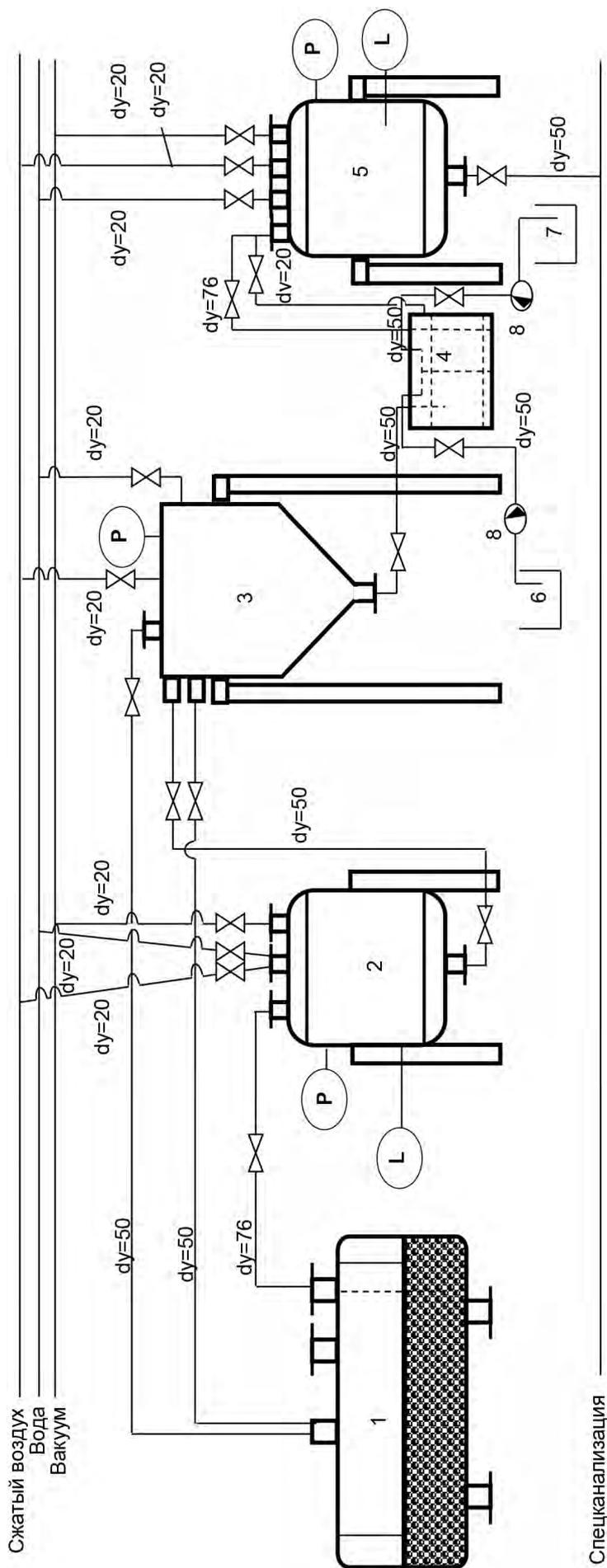


Рис. 2. Схема пневмогидравлическая опытной установки кондиционирования ИОС

ИОС в матричный материал с целью последующего внедрения промышленных установок на объектах атомной энергетики.

Для отработки технологии обезвоживания и включения ИОС в полимерный материал в ФГУП «РАДОН» была разработана, изготовлена и испытана на реальных ИОС опытная установка. Установка включала оборудование как имеющееся на АЭС (емкость для хранения, монжус для транспортирования ЖРО), так и оборудование, необходимое для кондиционирования ИОС (рис. 2). Пульпу ИОС из бака для хранения 1 ($V = 5 \text{ м}^3$) с помощью монжуса 2 ($V = 1,2 \text{ м}^3$) подают в дозатор 3 ($V = 1,3 \text{ м}^3$). При этом происходит сгущение пульпы за счет разницы в плотностях ИОС и транспортной воды. Переливная труба дозатора (нижний боковой трубопровод) служит для дозирования ИОС в контейнер. После заполнения дозатора пульпой, через некоторое время производят слив избытка пульпы ИОС из дозатора через переливную трубу. Затем из дозатора ИОС самотеком направляют в контейнер 4 типа КМЗ-РАДОН. Повторяют выше перечисленные операции до заполнения контейнера, которое определяют с помощью расположенного в контейнере датчика уровня. Контейнер для обезвоживания и включения ИОС в полимерное связующее оборудован двумя перегородками в донной и верхней частях контейнера.

После заполнения контейнера ИОС производят обезвоживание смолы в контейнере с помощью вакуума, создаваемого монжусом 5, через трубу, находящуюся ниже донной перегородки контейнера. Вода из монжуса 5 направляется либо в емкость 1, либо в спецканализацию. После завершения обезвоживания ИОС производят пропитку ИОС полимерным связующим в контейнере. Для этого насосами-дозаторами 8 с определенным расходом закачивают полимерную смолу из емкости 6 ($V = 0,2 \text{ м}^3$) и отвердитель из емкости 7 ($V = 0,2 \text{ м}^3$) через два дополнительных штуцера трубного смесителя, находящегося в контейнере. Смеситель представляет собой трубу ($D_u = 60 \text{ мм}$) с двумя штуцерами, заполненную насадкой. Высота слоя насадки до 700 мм. Равномерность пропитки ИОС в контейнере полимерным связующим обеспечивается расходом подачи компонентов полимерного связующего, конструкцией нижнего пояса контейнера и донной перегородки. Заполнение контейнера полимерным связующим производят до появления жидкости в незаглушенном

отверстии крышки контейнера. После этого контейнер направляют в зону выдержки для отверждения полимерного связующего и на последующее хранение.

Испытание установки по обезвоживанию ИОС проводили на отработавших катионите и анионите, выгруженных из системы водоочистки зд. №14 ФГУП «РАДОН» (табл. 1).

Таблица 1. Результаты анализа ИОС

Тип ИОС	Удельная активность, Бк/кг				
	$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$	^{137}Cs	^{60}Co	^{57}Co
Анионит	3,0 E+4	1,1 E+4	2,2 E+1	5,6	4,0 E+4
Катионит	9,7 E+3	4,0 E+5	1,3 E+5	7,8 E+2	6,4 E+5

Из-за низкой удельной активности ИОС и для наглядности испытание проводили со снятой крышкой на контейнере в следующей последовательности. Пульпу ИОС из системы водоочистки транспортировали в бак 1 и добавили техническую воду для придания пульпе «текучести» для транспортирования ($t/ж = 1/1 - 1/2$). После этого проводили следующие технологические операции:

- 1) заполнение монжуса 2 пульпой из бака 1 за счет вакуума, создаваемого в монжусе 2;
- 2) заполнение дозатора 3 пульпой из монжуса 2 за счет давления, создаваемого в монжусе 2;
- 3) заполнение контейнера 4 пульпой из дозатора 3 самотеком;
- 4) обезвоживание смолы в контейнере 4 за счет вакуума, создаваемого в монжусе 5;
- 5) слив транспортной и межпоровой воды из монжуса 5 в спецканализацию или бак 1.

Объем каждой порции пульпы ИОС составлял от 0,4 до 1,2 м^3 . Процесс заполнения контейнера пульпой ИОС и ее обезвоживание представлены на рис. 3.

Как видно, по мере заполнения контейнера наблюдалась некоторая неравномерность заполнения обезвоженной ИОС. Имел место уклон ИОС от стенки контейнера, у которой производили заполнение, к противоположной стенке. Поэтому заполнение контейнера пульпой ИОС от 80 до 100% проводили при механической вибрации контейнера с помощью внешнего вибратора. Это позволило получить практически равномерное распределение обезвоженной ИОС в контейнере. Степень заполнения контейнера пульпой ИОС контролировали визуально и с помощью датчиков уровня.



Рис. 3. Заполнение контейнера пульпой и обезвоживание ИОС

В процессе заполнения контейнера после обезвоживания проводили отбор проб ИОС для определения содержания свободной жидкости. Продолжительность отдельных технологических операций по обезвоживанию ИОС в контейнере представлена в табл. 2.

Таблица 2. Продолжительность технологических операций при обезвоживании ИОС

Технологическая операция	Продолжительность в цикле, мин			
	1	2	3	4
1 Заполнение монжуса 2	2	3,7	3,5	2,0
2 Заполнение дозатора 3	25*	5,0	4,0	2,0
3 Заполнение контейнера 4	4	6	8,3	2,0
4 Обезвоживание ИОС в контейнере	2	2	6	2,0
Общее время цикла	33	17	22	8
Объем обезвоженной ИОС, м ³	0,4	0,84	1,2	0,4
Производительность, м ³ /ч	0,73	3,0	3,3	3,0

* перегиб трубопровода между монжусом 2 и дозатором 3

Определение свободной жидкости проводили следующим образом. Отбирали мерный объем (200 мл) обезвоженной ИОС из контейнера и количественно переносили в коническую воронку или воронку Бюхнера с колбой Бунзена. В качестве фильтрующей перегородки использовали фильтровальную бумагу «белая лента». При определении свободной жидкости в воронке Бюхнера колбу Бунзена вакуумировали в течение 5–10 минут. При определении свободной жидкости в конической воронке ее устанавливали в мерный цилиндр и наблюдали за накоплением жидкости в течение 30 минут.

В процессе заполнения контейнера и обезвоживания отбор проб ИОС провели 4 раза (после каждого цикла). Свободная жидкость в пробах не обнаружена.

Испытания по обезвоживанию и пропитке ИОС в контейнере с помощью полимерного связующего проводили на смеси эпоксидного компаунда КДА и отвердителя ЭТАЛ-45М, которые были выбраны в ходе лабораторных экспериментов и испытания экспериментальной установки с объемом контейнера ~ 20 литров.

На первом этапе провели заполнение контейнера со снятой крышкой пульпой ИОС и ее обезвоживание. При общей высоте контейнера между перегородками 110 мм после заполнения контейнера ИОС и ее обезвоживания уровень смолы составил 102 мм.

Установили расходы подачи компонентов полимерного связующего КДА/ЭТАЛ-45М в объемном соотношении 2/1. Расход КДА (максимальный) составил 1000 л/ч, ЭТАЛ-45М — 500 л/ч. Для подачи КДА использовали насос НП-25, ЭТАЛ-45М — НП-25 с преобразователем частоты.

После этого приступили к пропитке обезвоженной ИОС в контейнере (рис. 4). После включения насосов давление на входе в контейнер через несколько минут установилось на значении 0,8 ати. В течение 45 минут процесс подачи компонентов был устойчивым. Давление на входе в контейнер не изменялось. Через 45 минут полимерное связующее показалось над верхней перегородкой, и работу насосов остановили. Контейнер был оставлен для отверждения эпоксидного компаунда. Расчетное содержание ИОС в полимерном компаунде составило 60% масс.

Через штуцер подачи пульпы ИОС в контейнер были отобраны пробы компаунда со дна, с середины и верхней части контейнера для определения скорости выщелачивания радионуклидов и прочности на сжатие. После выдержки в течение 28 суток прочность на сжатие для всех отобранных образцов превысила 50 МПа, а скорость выщелачивания по ¹³⁷Cs была менее 10⁻⁴ г/см²-сут.

Через 16 часов после завершения пропитки полимерный компаунд в контейнере был твердым и не продавливался острыми предметами.

Проведенные испытания показали:

- работоспособность технологии кондиционирования ИОС непосредственно в контейнере и возможность приведения ИОС к критериям приемлемости для захоронения РАО 4 класса;
- производительность установки по обезвоживанию ИОС составила ~ 3 м³/ч;
- производительность установки по обезвоживанию ИОС и включению в полимерное связующее составила ~ 0,5 м³/ч;
- необходимость в доработке некоторых конструктивных решений, обеспечивающих:
 - вибрацию контейнера при заполнении пульпой ИОС для равномерного распределения по сечению контейнера;
 - наличие быстросъемных соединений на контейнере для подводимых сред (пульпа ИОС, вакуум и др.) для снижения дозозатрат на персонал.



Рис. 4. Пропитка ИОС в контейнере КМЗ полимерным связующим

Разработка рабочей конструкторской документации

В дальнейшем была разработана рабочая документация на опытно-промышленную установку кондиционирования ИОС непосредственно в контейнере методами обезвоживания и включения в полимерное связующее. Разработка направлена на создание мобильной установки по переработке и кондиционированию ИОС на различных объектах атомной энергетики с производительностью до 800 м³/год.

Установку в виде отдельных узлов транспортируют спецтранспортом на объекты Заказчика, монтируют на объекте, подключают к инженерным сетям, кондиционируют ИОС и вывозят контейнеры в место временного хранения с последующей передачей Национальному оператору.

Установка имеет следующие параметры:

Упаковка для кондиционированной ИОС (в зависимости от удельной активности)	Контейнер типа НЗК с металлической вставкой или контейнер КМЗ, дооборудованные двумя перегородками
производительность установки, м ³ /ч	не менее 0,4
содержание свободной жидкости в обезвоженной ИОС, масс. %	< 3
содержание ИОС в полимерном компаунде, масс. %	не менее 60
режим работы	периодический
давление в оборудовании, МПа	не более 0,1
разрежение в оборудовании, МПа	– 0,06, не более
класс безопасности	3Н

Установку подключают на объекте переработки ИОС к следующим инженерным системам:

- подачи ИОС;
- подачи сжатого воздуха;
- вакуума;
- подачи технической воды;
- подачи дезактивирующего раствора;
- грязной сдвукке;
- спецканализации.

В состав опытно-промышленной установки входят следующие узлы и системы (рис. 5):

- дозатор А1 — 1 шт., V = 1,3 м³;
- контейнер А2;
- монжус А3, V = 1,3 м³;
- вибростол ВВ;
- поддон-фиксатор вибростола;
- площадка обслуживания;
- поддон сбора протечек;
- емкость для эпоксидной смолы А5, V = 0,5 м³;
- емкость для отвердителя А6, V = 0,5 м³;
- насос-дозатор НД — 2 шт.;
- трубопроводы и арматура;

- система управления установкой.

Система управления обеспечивает следующие функции:

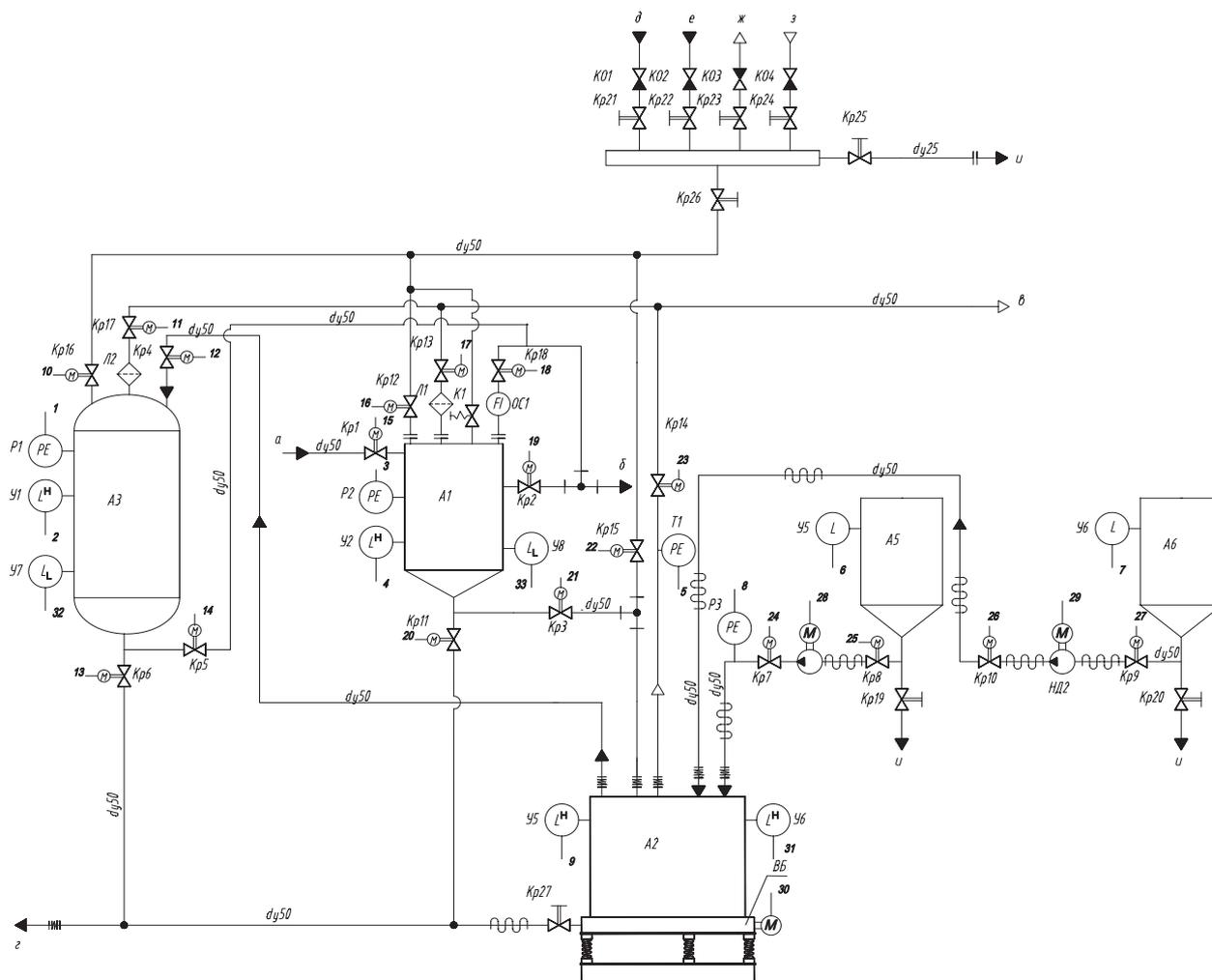
- контроль процесса;
- ручное управление электроприводом запорной арматуры;
- ручное включение/выключение насосов-дозаторов и преобразователей частоты к ним;
- ручное включение/выключение вибростола;
- видеоконтроль состояния пульпы ИОС в трубопроводе возврата ИОС из дозатора А1 при его заполнении пульпой ИОС;
- видеоконтроль герметичности соединений штуцеров на контейнере;
- световую сигнализацию положения запорной арматуры и состояние насосов 7 и преобразователей частоты к ним;
- световую сигнализацию отсутствия разрежения в трубопроводах сдвукки.

Система обеспечивает блокировки, исключающие нарушение технологического режима и разлив ЖРО.

Из приемной емкости (рис. 5) с помощью монжуса имеющуюся на объекте переработки пульпу ИОС направляют в дозатор А1 (V = 1,3 м³). При заполнении дозатора пульпой ИОС избыток пульпы через верхний трубопровод возвращается в приемную емкость. При этом происходит сгущение пульпы за счет разности плотностей воды и ИОС, а также практически полностью удаляется транспортная вода, остается лишь межпоровая. Контроль заполнения дозатора сгущенной пульпой производят с помощью телекамеры, установленной на смотровом окне в трубопроводе отвода пульпы ИОС из заполненного дозатора в приемную емкость, и монитора, установленного на передней панели пульта управления. Дозатор считается заполненным сгущенной пульпой тогда, когда в трубопроводе отвода пульпы идет сплошной поток ИОС, а не воды.

Переливная труба дозатора служит для дозирования ИОС в контейнер. После заполнения дозатора пульпой производят слив избытка пульпы ИОС из дозатора через переливную трубу в приемную емкость. Затем из дозатора сгущенную пульпу ИОС направляют в контейнер А2 (контейнер 1 типа КМЗ или контейнер 2 типа НЗК с металлической вставкой). Заполнение контейнера производят при периодической работе вибростола ВВ. Это необходимо для равномерного распределения по сечению контейнера пульпы ИОС.

После заполнения контейнера ИОС, которое определяют (контролируют) по датчику уровня пульпы в контейнере, производят обезвоживание смолы с помощью вакуума, создаваемого в монжусе А3. При этом транспортная и межпоровая вода проходит через нижнюю перегородку, а ИОС остается на ней в контейнере. Завершение обезвоживания пульпы ИОС определяют по



A1 – дозатор, A2 – контейнер, A3 – монжуса, A5 – емкость для эпоксидной смолы, A6 – емкость для отвердителя, Bb – вибростол; а, б – подача и возврат ИОС, в – грязная сдвуха, г – спецканализация, д – дезраствор, е – вода, ж – вакуум, з – сжатый воздух, и – слив

Рис. 5. Принципиальная схема опытно-промышленной установки кондиционирования ИОС

датчику давления монжуса А3. После удаления воды разрежение в монжусе резко падает до нуля.

Затем подают в контейнер полимерное связующее (эпоксидную смолу и отвердитель) из емкостей А5 и А6 до момента срабатывания наклонного датчика уровня полимерного связующего, расположенного на боковой стенке крышки контейнера. После чего контейнер с обезвоженной и кондиционированной ИОС с помощью вилочного погрузчика направляют на выходной контроль.

Воду из монжуса А3 направляют либо в емкость, имеющуюся на объекте, либо в спецканализацию.

К каждой единице оборудования предусмотрен подвод технической воды и дезраствора для проведения дезактивации внутренних поверхностей, а также отвод отработавших растворов в спецканализацию. Все источники выбросов подключены к грязной сдвухе.

Создание и внедрение подобной установки позволит решить проблему накопленных ИОС на объектах атомной энергетики и других предприятиях, использующих радиоактивные вещества.

Литература

1. Application of ion exchange processes for the treatment of radioactive waste and management of spent ion exchangers: Technical reports series no.408. — International Atomic Energy Agency. Vienna, 2002.— P. 115.
2. Савкин А. Е., Осташкина Е. Е., Павлова Г. Ю., Карлина О. К. Опытная переработка отработавших ионообменных смол//ВАНТ, серия: Материаловедение и новые материалы — 2016. — № 3 (86). — С. 40—49.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения»: НП-093-14: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 15.12.2014.
4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности»: НП-019-15: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 25.06.2015.

Информация об авторах

Савкин Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, эксперт, ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский пер., 2/14), e-mail: AESavkin@radon.ru.

Карлина Ольга Константиновна, кандидат химических наук, ученый секретарь, ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский пер., 2/14), e-mail: OKKarlina@radon.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Савкин А. Е., Карлина О. К. Разработка технологии кондиционирования отработавших ионообменных смол // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 1 (2). — С. 54—61.

THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR CONDITIONING SPENT ION EXCHANGE RESINS

A. E. Savkin, O. K. Karlina

FSUE «RADON», Moscow, Russian Federation

Article received 30 January 2018

In FSUE «RADON» various methods of treatment and conditioning of radioactive spent ion-exchange resins (IER) were tested. Evaluation of technological appropriateness of the methods according to the following criteria: conformity to requirements of normative documents, the specific activity of IER, the presence of a certified package, the capacity of the installation was done. Selected criteria correspond dewatering, inclusion in the polymer matrix, and cementation. A technical and economic comparisons of the selected technologies were performed. The full-scale pilot plant for the dewatering, and the inclusion of IER in the matrix material directly into a container for disposal was designed, manufactured and tested on a real IER. For the subsequent introduction of industrial plants at nuclear power facilities working documentation for the experimental – industrial plant for conditioning IER directly in the container was developed. The choice of container depends on the specific activity of IER (KMZ, NZK–150–1.5 P).

Key words: ion exchange resin, nuclear power plants, polymer binder, dewatering, and cementation.

References

1. Application of ion exchange processes for the treatment of radioactive waste and management of spent ion exchangers: Technical reports series no. 408. — International Atomic Energy Agency. Vienna, 2002. — P. 115.
2. Savkin A. E., Ostashkina E. E., Pavlova G. Yu., Karlina O. K. Opytnaja pererabotka otrabotavshih ionoobmennyyh smol. VANT, serija: Materialovedenie i novye materialy, 2016, № 3 (86), S. 40—49. (In Russian).
3. Federalnyye normy i pravila v oblasti ispolzovaniya atomnoy energii «Kriterii priyemlemosti radioaktivnykh otkhodov dlya zakhoroneniya»: NP-093-14: utv. Federalnoy sluzhboy po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru 15.12.2014. (In Russian).
4. Federalnyye normy i pravila v oblasti ispolzovaniya atomnoy energii «Sbor, pererabotka, khraneniye i konditsionirovaniye zhidkikh radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti»: NP-019-15: utv. Federalnoy sluzhboy po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru 25.06.2015. (In Russian).

Author information

Savkin Alexander Evgenevich, Ph. D., expert, FSUE «RADON», (2/14, 7-th Rostov per., Moscow, Russia, 119121), e-mail: AESavkin@radon.ru.

Karlina Olga Konstantinovna, Ph. D., scientific Secretary, FSUE «RADON», (2/14, 7-th Rostov per., Moscow, Russia, 119121), e-mail: OKKarlina@radon.ru.

Bibliographic description

Savkin A.E., Karlina O.K. The development of technology for conditioning spent ion exchange resins. Radioactive Waste, 2018, no 1 (2), pp. 54—61 (In Russian).