

ИСПЫТАНИЕ СТЕНДОВ ПО ВЫБОРУ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ СОРБЕНТОВ ИЗ ПОДВАЛОВ АЭС «ФУКУСИМА»

Савкин А.Е., Сластенников Ю.Т., Осташкина Е.Е.
(ФГУП «РАДОН», Москва, Россия)

Введение

При ликвидации аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» производилось принудительное охлаждение разрушенных активных зон трёх аварийных блоков станции; при этом сброс радиоактивных вод охлаждения выполнялся в подвалы двух зданий. Перед началом сброса на полу подвалов зданий и ведущих туда лестничных маршей были уложены мешки с клинотилолитом и активированным углем для сорбции радионуклидов. В настоящее время мешки с загрязненными сорбентами находятся под слоем воды, удельная активность клинотилолита составляет $1 \cdot 10^{11}$ Бк/кг, активированного угля - $1 \cdot 10^8$ Бк/кг.

В качестве базового способа извлечения сорбентов группой российских предприятий, заключивших контракт с японской электроэнергетической компанией ТЕРСО, выбран вариант подводного вскрытия мешков с помощью робота, гидротранспорта пульпы сорбентов с последующим кондиционированием в фильтр-ловушках, используемых на АЭС «Фукусима».

Для обоснования технической реализуемости технологии гидровыгрузки материалов, выбора оптимальных режимов и технологических аспектов схемы гидровыгрузки ФГУП «РАДОН» был проведен ряд испытаний, позволяющих определить целесообразные методы гидротранспорта цеолитов и угля из подвала в фильтр-ловушку, способы контроля заполнения фильтр-ловушки, методы и режимы промывки контейнеризированных цеолитов и активированного угля обессоленной водой и методы и режимы обезвоживания контейнеризированных сорбентов.

Экспериментальная часть

В ходе проведения испытаний были решены следующие задачи:

- изготовление полномасштабных образцов фильтра-ловушки (ФЛ) в количестве двух штук, первый – для отработки режимов промывки, второй – для отработки гидротранспорта;
- разработка, изготовление и монтаж стендов для испытаний, имитирующих процесс гидровыгрузки и контейнеризации сорбентов;
- выполнение имитации условий среды (кроме радиационного фактора), в которой находятся сорбенты на площадке АЭС «Фукусима-Дайичи» (солесодержание воды, концентрация хлор-ионов);
- выбор оптимального метода, позволяющего дистанционно определить, что уровень заполнения ФЛ сорбентами составляет не менее 90 % от его объема;
- определение оптимального метода и режимов промывки обессоленной водой контейнеризированных сорбентов для снижения концентрации хлор-ионов до значений ниже 30 ppm;
- определение оптимального метода и режимов обезвоживания контейнеризированных сорбентов до содержания свободной жидкости менее 3 масс. % [1, 2].

Решение двух последних задач необходимо для исключения значимой коррозии конструкционных материалов ФЛ при последующем долговременном хранении.

Для проведения испытаний использовали материалы с физическими и химическими параметрами, схожими с параметрами реальных материалов АЭС «Фукусима-Дайичи», а именно:

- цеолит природный (клиноптилолит), со следующими характеристиками:
размер частиц..... 1,0 – 3 мм,
удельный вес..... 2,15 г/мл;
- активированный уголь БАУ-МФ, со следующими характеристиками:
размер частиц..... 0,5 – 1,5 мм,
удельный вес..... 0,24 г/мл.

Испытания по извлечению и контейнеризации проводили на клиноптилолите (КЛ), активированном угле (АУ) и смеси КЛ и АУ при массовом соотношении 50/50.

В качестве имитатора морской воды использовали водный раствор хлорида натрия с концентрацией по хлор-иону 1000 ppm или примерно 1 г/л, что в пересчете на хлорид натрия составляет 1,65 г/л.

Для промывки контейнеризированных сорбентов использовали обратную воду или техническую воду с концентрацией хлор-иона менее 14 мг/л. При проведении каждого эксперимента в воде для промывки выполняли контроль удельной электропроводности и содержания хлор-ионов.

Стенды для испытаний включали следующее оборудование:

- контейнеры КМЗ (объем порядка 3,0 м³) и КРАД-ТМ (объем порядка 1,3 м³);
- насос дренажный, обеспечивающий высоту подъема 22 м, допустимый диаметр твердых частиц – 10 мм и максимальную производительность 279 л/мин;
- ФЛ рабочим объемом 1,2 м³;
- дозатор (Д) высотой 2 м, диаметром 1,1 м и рабочим объемом 1,2 м³. Объем Д равен объему ФЛ.

Стенд по гидросхеме № 1 представлен на рис. 1.

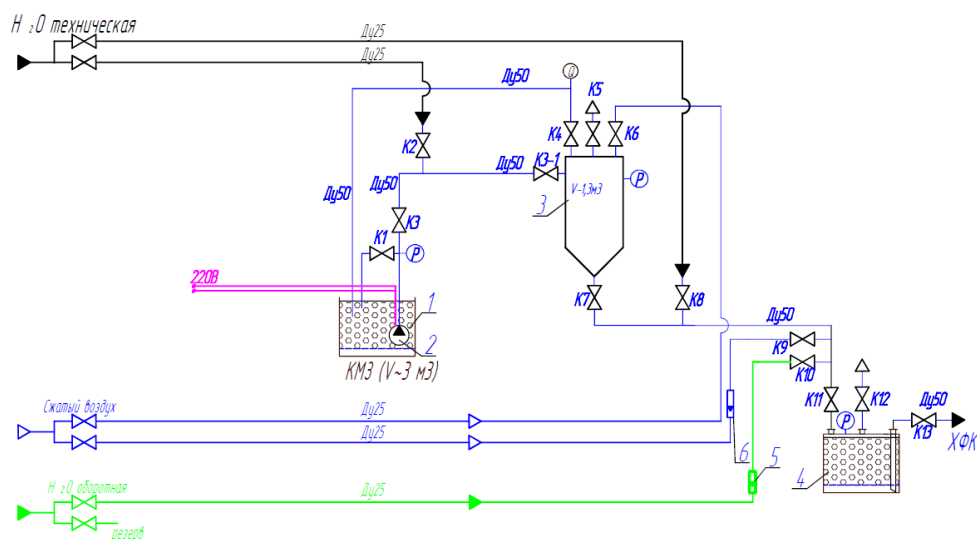


Рис. 1. Гидросхема № 1:

- 1 – контейнер КМЗ, 2 – погружной насос, 3 – дозатор, 4 – фильтр-ловушка,
5 – ротаметр обратной воды, 6 – ротаметр воздушный

При реализации гидросхемы № 1 пульпа КЛ или АУ (смесь КЛ и АУ) находилась в контейнере (1). С помощью погружного насоса (2) пульпу подавали в Д (3). В нем из-за разницы в плотностях сорбента и воды происходило их разделение и сгущение пульпы. Сорбент опускался на дно Д, постепенно его заполняя, а вода переливалась в контейнер. Когда Д заполнялся сорбентом, т.е. крупные фракции сорбента начинали поступать в контейнер (1), насос выключали. Появление крупных фракций сорбента определяли визуально на переливном трубопроводе Д, изготовленном из полупрозрачного ПВХ.

После открытия соответствующих кранов сгущенный сорбент с помощью сжатого воздуха транспортировали в ФЛ.

Стенд по гидросхеме № 2 представлен на рис. 2.

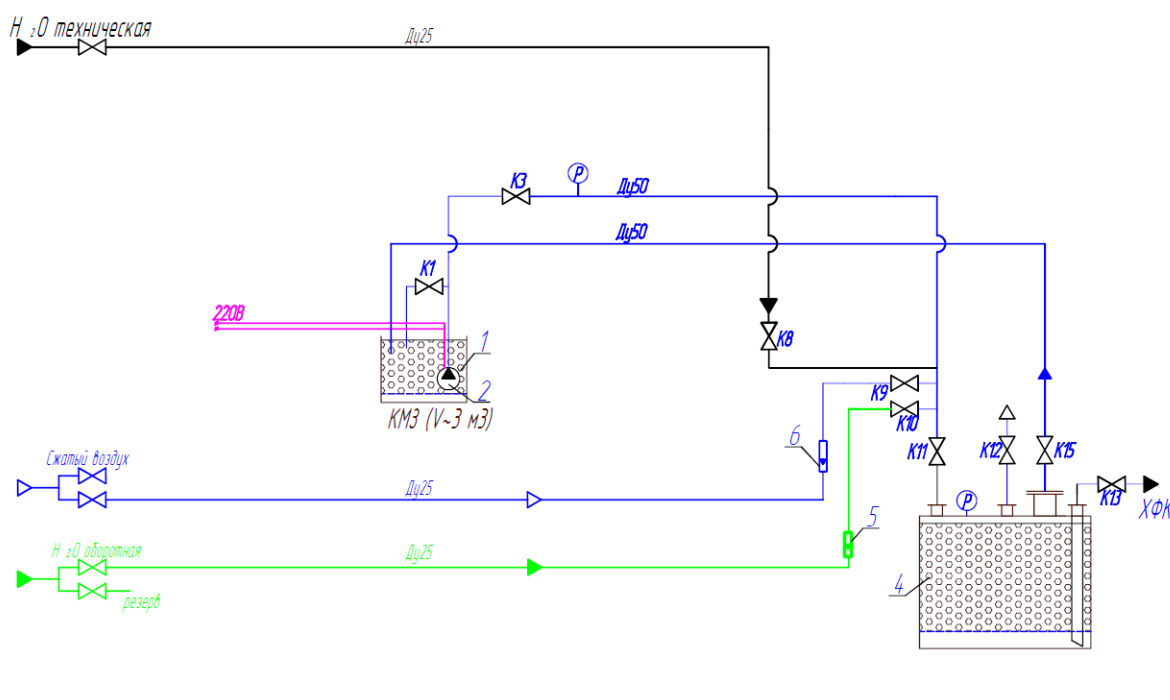


Рис. 2. Гидросхема № 2:

1 – контейнер КМЗ, 2 – погружной насос, 4 – фильтр-ловушка,
5 – ротаметр оборотной воды, 6 – ротаметр воздушный.

При реализации гидросхемы № 2 пульпа КЛ или АУ (смесь КЛ и АУ) находилась в контейнере (1). С помощью погружного насоса (2) пульпу подавали в ФЛ (4). В нем из-за разницы в плотностях сорбента и воды происходило их разделение и сгущение пульпы. Сорбент опускался на дно ФЛ, постепенно его заполняя, а вода переливалась в контейнер. Когда ФЛ заполнялся сорбентом, т.е. крупные фракции сорбента начинали поступать в контейнер, насос выключали. Появление крупных фракций сорбента определяли визуально на переливном трубопроводе ФЛ.

В ходе проведения первых экспериментов не удавалось визуально четко определить начало выноса сорбентов из ФЛ переливным потоком в прозрачном ПВХ трубопроводе. Поэтому ФЛ и Д были дооборудованы прозрачным фланцем (рис. 3), в котором можно было хорошо наблюдать наличие или отсутствие крупных частиц в процессе заполнения ФЛ (Д).



Рис. 3. Прозрачный фланец после заполнения фильтра-ловушки и остановки насоса (а) и при подаче пульпы в заполненную фильтр-ловушку (б)

При заполнении Д по гидросхеме № 1 различными сорбентами были получены следующие параметры технологического процесса:

- для КЛ: расход пульпы – $28 \text{ м}^3/\text{ч}$, время заполнения – не более 1 ч;
- для АУ: расход пульпы – $7,3 \text{ м}^3/\text{ч}$, время заполнения – не более 1,5 ч;
- для смеси КЛ и АУ: расход пульпы – $9,3 \text{ м}^3/\text{ч}$, время заполнения – не более 1,1 ч.

При заполнении ФЛ по гидросхеме № 2 различными сорбентами были получены следующие параметры технологического процесса:

- для КЛ: расход пульпы – от 28 до $5,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, время заполнения – не более 1,5 ч;
- для АУ: расход пульпы – от $5,5$ до $2,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, время заполнения – не более 1,5 ч;
- для смеси КЛ и АУ: расход пульпы – от $6,6$ до $4,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, время заполнения – не более 1,5 ч.

Время перекачивания сорбентов из Д в ФЛ не превышало 37 мин. Степень заполнения ФЛ сорбентами составляла 90–95 % во всех случаях.

Для промывки сорбентов от хлор-иона в ФЛ использовали воду с низким содержанием хлоридов (менее 14 мг/л). Путем открытия соответствующих кранов промывали сорбенты в ФЛ водой с определенным расходом (от 2 до $3 \text{ м}^3/\text{час}$), который контролировали по ротаметру. Время промывки и расход воды уточняли опытным путем по результатам анализов промывной воды на выходе из ФЛ. Экспресс-анализ проводили непосредственно в помещении, где проходили испытания, с помощью кондуктометра, а концентрацию хлор-иона – в лаборатории методом ионной хроматографии.

Результаты промывки сорбентов на примере КЛ и АУ представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Промывка клиноптилолита в фильтр-ловушке от хлор-иона водопроводной водой

Время, мин	15	30	45	60	75	90
Давление в ФЛ, МПа	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Расход воды, $\text{м}^3/\text{час}$	3,3	3,3	3,3	3,2	3,3	3,2
Удельная электропроводность промывной воды (УЭ), мС/см	0,96	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65
Концентрация хлор-иона в промывной воде, мг/дм^3	91	10,5	5,8	2,88	1,99	1,65

Таблица 2

Промывка активированного угля в фильтр-ловушке от хлор-иона водопроводной водой

Время, мин	15	30	45	60	75	90
Давление в ФЛ, МПа	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Расход воды, м ³ /час	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Удельная электропроводность промывной воды (УЭ), мС/см	2,2	0,71	0,54	0,52	0,52	0,52
Концентрация хлор-иона в промывной воде, мг/дм ³ л	570	98	40	15,1	5,3	3,62

По результатам испытаний были сделаны выводы, что для обеспечения эффективности процесса промывку сорбентов в ФЛ необходимо проводить водой с расходом 3 м³/ч в течение 60–75 мин. После этого концентрация хлор-ионов в промывной воде и сорбенте составляет менее 30 мг/дм³.

Обезвоживание промытого сорбента непосредственно в ФЛ проводили сжатым воздухом. После открытия соответствующих кранов сжатым воздухом с определенным расходом (порядка 50 м³/час), который контролировали по ротаметру, продували сорбент в течение определенного времени. Путем измерения уровня оставшейся воды определяли содержание свободной жидкости в ФЛ, которое должно быть менее 3 масс. %.

По окончании обезвоживания проводили отбор проб сорбента из ФЛ с помощью специального пробоотборника для дальнейшего определения таких параметров, как влажность и концентрация хлоридов (определялась методом водной вытяжки).

Было установлено, что обезвоживание сорбентов в ФЛ необходимо проводить сжатым воздухом с расходом 50 м³/ч в течение двух часов, после чего требуется выдержка для стекания оставшейся жидкости в течение более 18 суток с периодической откачкой жидкости из ФЛ.

Заключение

Полученные результаты испытаний по обоснованию технической реализуемости технологии гидровыгрузки материалов, выбора оптимальных режимов и технологических аспектов ее осуществления включены в Basic Design по извлечению и кондиционированию сорбентов из подвалов АЭС «Фукусима», разработанный группой российских предприятий по контракту с японской электроэнергетической компанией ТЕРСО.

Список литературы

1. НП-019-15 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности»
2. НП-093-14 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения»