

УДК 621.039.72

© 2003

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ЖИДКИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ ПО «МАЯК»

Ю.В. Глаголенко, С.И. Ровный, Г.М. Медведев
Россия, г. Озерск, ПО «Маяк»

Ш.П. Полуэктов
Россия, Москва, ГИЦ РФ «ВНИИМ им. А.А. Бочвара»

Приведены данные о текущих и накопленных радиоактивных отходах производственной деятельности ПО «Маяк». Выполнен анализ существующих и перспективных схем переработки ЖРО высокого, среднего и низкого уровней активности, образующихся в технологических процессах предприятия.

Производственная деятельность ПО «Маяк» сопровождается образованием большого объема жидких радиоактивных растворов. По уровню активности эти отходы делятся на высокоактивные, среднеактивные и низкоактивные (ВАО, САО и НАО). В табл. 1 приведены среднегодовые объемы образования отходов каждой группы и их уровень активности. Кроме того, на предприятии накоплено значительное количество радиоактивных отходов, образовавшихся в результате прошлой производственной деятельности. В емкостях-хранилищах хранятся 8600 м³ кислых растворов с активностью 10–40 Ки/л и 14460 м³ щелочных суспензий с активностью 5–10 Ки/л, которые были получены при выполнении оборонных программ.

Наиболее объективное представление о сегодняшнем состоянии дел на комбинате с переработкой отходов можно получить при рассмотрении технологических схем их переработки в различные годы.

Из схемы, приведенной на рис. 1, видно, что до 1987 г. высокоактивные отходы после предварительной упарки перерабатывались по осадительной технологии. Ферроцианидные, гидроксидные и сульфидные осадки, содержащие основную массу радионуклидов,

передавались в виде суспензии в емкости-хранилища, а декантаты, переселенные в категорию среднеактивных отходов, сбрасывались в озеро Карачай (водоем 9).

После 1987 г. (рис. 2) в связи с пуском цеха остекловывания высокоактивные отходы перерабатываются по технологии остекловывания с включением радионуклидов в алюмофосфатное стекло. Блоки активного стекла помещаются в стальные контейнеры, которые направляются на хранение в специально оборудованное хранилище. Конденсаты от процессов упаривания и остекловывания после извлечения азотной кислоты сбрасываются в водоем Старое Болото (водоем 17).

Среднеактивные растворы перерабатываются по схеме, приведенной на рис. 3. Эти растворы по уровню кислотности подразделяются на две группы: кислотную и щелочную. Кислая группа растворов нейтрализуется и сбрасывается в озеро Карачай. Щелочная группа подвергается упариванию, образующиеся при этом конденсаты подсоединяются к низкоактивным растворам, а кубовые остатки также сбрасываются в озеро Карачай.

Схема обращения с низкоактивными отходами (рис. 4), разработанная более 40 лет назад для обеспечения требуемых параметров

Таблица 1

Радиоактивные отходы (РАО) ПО «Маяк»

Источник образования	Категория отходов	Фазовое состояние	Годовое поступление, м ³	Активность, Ки/л
"Текущие" отходы — от действующего производства (радиохимическое, изотопное, химико-металлургическое, реакторное)	BAO	Растворы	3000–3500	10–25
	CAO	Растворы, осадки	(15–20)·10 ³	0,003–0,2
	HAO	Растворы	(400–500)·10 ³ (5,0–5,5)·10 ⁶	<10 ⁻⁵ 10 ⁻⁷ –10 ⁻⁸
"Накопленные" отходы — от реализации оборонных программ	BAO	Растворы	8600 ^{*)}	10–40
		Суспензии	14460 ^{*)}	5–10

^{*)} Общий объем накопленных отходов.

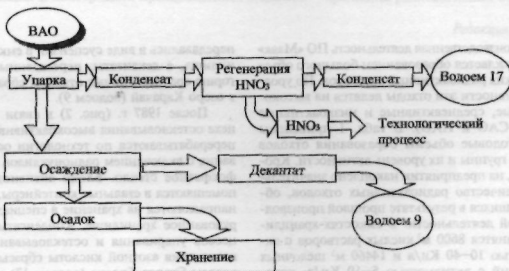


Рис. 1. Схема переработки высокоактивных отходов до 1987 г.

качества воды водоема 2 (оз. Кызыл-Таш), до настоящего времени практически не претерпела никаких изменений. В соответствии с этой схемой растворы спецканализации подвергаются многоступенчатой очистке методами коагуляции, отстаивания фильтрации и ионного обмена. Очищенная вода с активностью 10^{-7} – 10^{-8} Ки/л поступает в водоем 2,

а регенерационные растворы и промывные воды после нейтрализации сбрасываются в водоем 3 Теченского каскада. Хозяйственно-бытовые стоки без обработки поступают в водоем 4 Теченского каскада водоемов-хранителей, а в маловодные годы часть стоков перелается в водоем 2 для регулирования уровня водоема.

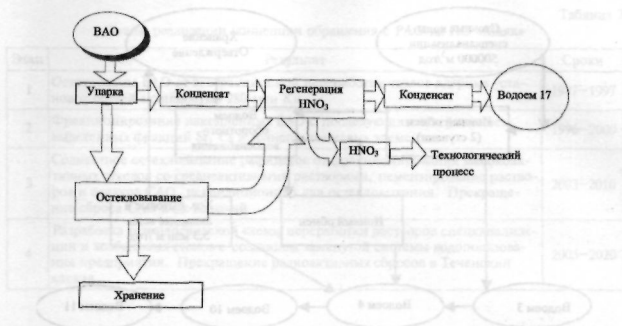


Рис. 2. Схема переработки высокоактивных отходов после 1987 г.



Рис. 3. Схема переработки среднеактивных отходов

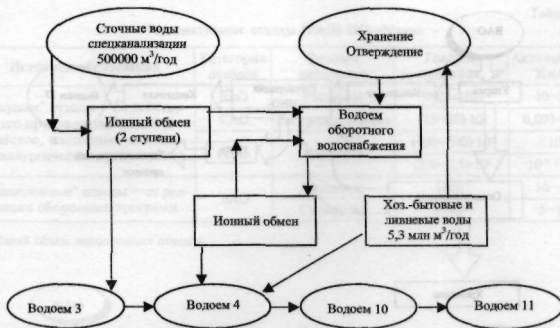


Рис. 4. Обращение с жидкими низкоактивными отходами ПО «Маяк»

Из анализа приведенных схем видно, что ни одна из рассмотренных схем не отвечает современным требованиям экологической безопасности.

Сегодня становится очевидным, что дальнейшая деятельность предприятия, перспективы его развития, особенно радиохимического и химико-металлургических производств, напрямую зависят от создания экологически безопасной схемы переработки жидких радиоактивных отходов, решающей проблемы озера Карачай и Теченского каскада водохранилищ. В последние годы для ПО «Маяк» специалистами предприятия совместно с учеными отраслевых институтов НПО РИАН, ВНИИНМ, ИФХ РАН, ИГЕМ разработана экологически безопасная концепция обращения с жидкими радиоактивными отходами, образующимися при регенерации отработавшего ядерного топлива и переработке оружейного плутония. Концепция предусматривает создание технологических схем, в соответствии

с которыми все радионуклиды иммобилизуются в твердые инертные матрицы, пригодные для длительного хранения и последующего захоронения, а очищенные водные растворы сбрасываются без ограничений в окружающую среду или используются повторно в технологическом цикле предприятия.

Перспективными планами предприятия предусмотрена поэтапная реализация разработанной концепции (табл. 2):

- на первом этапе внедряется технология остекловывания высокоактивных отходов, образующихся от переработки отработанного ядерного топлива;
- на втором этапе завершаются работы по фракционированию высокоактивных отходов с последующим отверждением выделенных фракций стронция, цезия и трансплутониевых элементов;
- на третьем этапе завершается разработка технологии совместного остекловывания рафинатов от фракционирования высоко-

Таблица 2

Этапы реализации концепции обращения с РАО на ПО «Маяк»

Этап	Результат	Сроки
1	Остеклованы ВАО от экстракционной переработки твзлов ядерных установок общей активностью 280 млн Ки	1987–1997
2	Фракционирование накопленных ВАО с последующим отверждением выделенных фракций Sr, Cs и трансплутониевых элементов	1996–2000
3	Совместное остекловывание рафинатов от фракционирования высокоактивных отходов со среднеактивными растворами, цементирования растворов и осадков САО, некондиционных для остекловывания. Прекращение сброса САО в оз. Карачай	2003–2010
4	Разработка технологической схемы переработки растворов спецканализации и хозбытовых стоков с созданием замкнутой системы водопользования предприятия. Прекращение радиоактивных сбросов в Теченский каскад	2005–2020

активных растворов со среднеактивными растворами и технологий цементирования среднеактивных растворов и осадков, некондиционных для остекловывания по химическому и фазовому составам, и осуществляется промышленная реализация разработанной схемы с прекращением сброса САО в озеро Карачай;

- на четвертом этапе, на базе сорбционной и мембранной технологий разрабатывается схема переработки растворов спецканализации и хозяйственно-бытовых сточных вод с созданием замкнутой системы водопользования предприятия и прекращением радиоактивных сбросов в Теченский каскад водоемов-хранилищ.

Практическое осуществление работ по созданию на ПО «Маяк» схемы обращения с радиоактивными отходами, отвечающим современным экологическим требованиям, началось в 1987 г. с пуска цеха остекловывания высокоактивных отходов. Одновременно в стадии опытно-промышленной отработки перешли работы по фракционированию высокоактивных растворов.

Результаты, полученные при реализации первых двух этапов концепции, послужили

основанием к выполнению третьего этапа работ, связанного с переработкой среднеактивных отходов и прекращением их сброса в озеро Карачай.

Необходимо отметить, что первоначально планами создания экологической схемы обращения с радиоактивными отходами предусматривалось создание комплекса битумирования среднеактивных отходов. Проект комплекса предусматривал узлы сбора и усреднения растворов, оборудование для уварки щелочной и кислой групп растворов, установки битумирования с аппаратами котлового и роторного типа. Однако впоследствии было принято решение об исключении из концептуальной схемы переработки отходов процесса битумирования и замене его на процесс остекловывания и цементирования. Принятие этого решения было обусловлено недостаточной надежностью битуматоров, приводящей к технологическим отклонениям, и пожароопасностью процесса.

В результате проведения комплекса исследований, выполненных на ПО «Маяк» и в отраслевых институтах, разработана технологическая схема совместной переработки высокоактивных и среднеактивных растворов,



Рис. 5. Первый вариант переработки

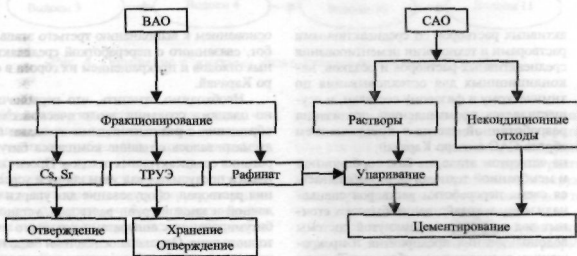


Рис. 6. Второй вариант переработки

включающая три варианта ее осуществления.

По первому варианту, приведенному на рис. 5, высокоактивные растворы подвергаются фракционированию. Фракции стронция-цезия и трансурановых элементов отверждаются с получением высокоактивных стеклоподобных материалов. Отходы среднего уровня активности классифицируются по своему химическому

и фазовому составу на две группы. В первую группу входят растворы, во вторую – осадки, суспензии и растворы, содержащие хлор, фтор, которые накапливаются в технологическом процессе. Первая группа упаривается и остекловывается вместе с рафинатами от фракционирования ВАО. Отходы второй группы подвергаются цементированию.

Таблица 3

Количество отходов, образующихся при совместной обработке САО и ВАО

Вариант переработки	Тип отходов	Активность, Ки/л	Годовой объем, т
1 вариант: • фракционирование, • остекловывание смеси ВАО-САО, • цементирование части САО	Боросиликатное стекло	$(1,0-1,5) \cdot 10^4$	7,5
	Фосфатное стекло	3-5	550-600
	Цементный компаунд	0,1-0,5	2500-2800
2 вариант: • фракционирование, • цементирование ВАО-САО	Боросиликатное стекло	$(1,0-1,5) \cdot 10^4$	7,5
	Цементный компаунд	0,3-0,5	8000
3 вариант: • остекловывание смеси ВАО-САО, • цементирование части САО	Фосфатное стекло	250-350	550-600
	Цементный компаунд	0,1-0,5	2500-2800

Второй вариант (рис. 6) практически полностью повторяет первый, отличаясь лишь конечной операцией, когда рафинаты от фракционирования и все САО перерабатываются методом цементирования.

Третий вариант (рис. 7) не предусматривает операции предварительного фракционирования ВАО. Растворы ВАО и САО после предварительной упарки смешиваются и перерабатываются методом остекловывания. Некондиционные САО направляются на установку цементирования.

Количество отходов, образующихся по каждому варианту, и их удельная активность приведены в табл. 3 и на рис. 8.

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что все варианты совместной переработки ВАО-САО предусматривают использование операции цементирования. Это связано с тем, что часть отходов САО по своему химическому составу и фазовому состоянию является некондиционной для остекловывания и может быть переработана только методом цементирования. К таким отходам относятся перлитные, марганцевые, гидршламовые пульпы, отработанные сорбенты и концентраты от переработки растворов спецканализации. В эту

же группу отходов включены среднеактивные растворы, содержащие хлориды, фториды, переработка которых высокотемпературными методами приводит к накоплению галогенов в регенерированной азотной кислоте. При цементировании некондиционных для остекловывания отходов САО образуется около 2800 т в год цементного компаунда. Если все отходы САО направить на цементирование, в том числе и рафинаты с установки фракционирования, то годовое количество цементного компаунда составит 8000 т.

С целью создания эффективной схемы переработки растворов спецканализации совместно с институтами выполнен большой объем научно-исследовательских работ и предложено несколько вариантов схем очистки. Специалистами ПО «Маяк» проведено сравнение предложенных схем по основным техническим показателям: качеству очищенной воды, расходу реагентов и массе солей, направляемых на отверждение. Лучшие показатели получены для мембранно-сорбционной схемы очистки, совмещающей методы ультрафильтрации, обратного осмоса и ионного обмена с использованием технологического оборудования, имеющегося на заводе волоподготовки.

В соответствии с данной схемой основными технологическими процессами являются ультрафильтрация и обратный осмос, а ионный обмен используется на стадии доочистки. Концентраты и регенераты, полученные с операцией обратного осмоса и ионного обмена, упариваются с получением кубового остатка с содержанием 350–400 г/л. Схема должна обеспечить очистку растворов до активности менее 10^{-4} Ки/л и получение около 1500 м³/год концентрата с общим содержанием ~600 т, который направляется на цементирование со среднеактивными отходами.

ВЫВОДЫ

1. В соответствии с безопасной концепцией обращения с РАО на основе существующих технологических процессов фракционирования и остекловывания высокоактивных отходов с использованием разрабатываемой технологии цементирования предложено три варианта совместной переработки высокоактивных и среднеактивных отходов, обеспечиваю-

щих поэтапное прекращение сброса среднеактивных отходов в озеро Карачай.

2. С учетом физико-химического состояния и радионуклидного состава отходов показана необходимость создания на ПО «Маяк» установки цементирования среднеактивных отходов производительностью до 8000 т/год по цементному компаунду.

3. Для переработки растворов спецканализации разработана схема на основе сорбционных и мембранных процессов очистки с замкнутой системой водооборота и получением среднеактивного концентрата, направляемого на установку цементирования САО, и очищенной воды, пригодной для сброса в открытую гидрографическую сеть или для повторного использования в технологическом процессе.

4. Хозяйственно-бытовые и ливневые стоки промплощадки предлагается перевести в разряд неактивных сбросов путем перевода на систему водопользования озера Иртыш и перекommunikаций сетей водосброса с целью исключения поступления радиоактивных растворов в хозяйственно-бытовые сточные воды.