

Опыт внедрения систем ионоселективной очистки трапных вод от радионуклидов на блоках 1-2 НВАС-2

Статья посвящена оценке опыта применения метода ионоселективной очистки трапных вод от радионуклидов на энергоблоках № 1 и 2 НВАЭС-2. Использование ионоселективного сорбента на основе ферроцианида никеля, а также предварительное окисление радионуклидов коррозионного происхождения позволяет достигать удовлетворительного качества очистки от Cs-134, Cs-137, Co 60, Co-58, Mn-54, Sr-51. Однако данный метод оказался малоэффективен для очистки трапных вод от Be-7, Sb-124, Sb-125. В статье представлен возможный способ очистки трапных вод от Be-7, Sb-124, Sb-125 с помощью коагулянта на основе железа, перспективы модернизации установки ионоселективной очистки трапных вод, а также планы по совершенствованию методов очистки трапных вод на НВАЭС-2.

Ключевые слова: ионоселективная очистка, УИСО, сорбент, трапные воды, модернизация, коагуляция, бериллий, сурьма.

Одной из значимых проблем развития мировой атомной энергетики является поиск безопасных и экономически эффективных способов обращения с жидкими дебалансными средами, содержащими радионуклиды.

В настоящее время на АЭС России основным способом переработки трапных вод является упаривание на выпарных аппаратах до солесодержания порядка 150–200 г/л с последующим кондиционированием радиоактивного кубового остатка по одной из принятых технологий (табл.1) [1].

**В.П.Поваров, И.Н.Гусев,
С.В.Росновский, Д.Б.Стацура,
В.Р.Казанский, Е.В.Гончаров,
Э.С.Мельников, А.С.Волков,
С.К.Булка**

(Филиал АО «Концерн Росэнергоатом»
«Нововоронежская АЭС», г. Нововоронеж)

Е.А.Иванов, И.И.Корнеев

(АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» АО «ВНИИАЭС», г. Москва)

Энергоблоки 1-2 Нововоронежской АЭС-2 относятся к поколению 3+ и в соответствии с проектом оснащены инновационными системами очистки трапных вод от радионуклидов. В целях повышения надежности применена комбинированная схема переработки жидких радиоактивных сред, включающая в себя (рис.1):

- установку ионоселективной очистки (УИСО) КРФ20-30;
- выпарные аппараты КВФ20АТ001;
- установку глубокого упаривания (УГУ) КРС;

Табл.1.

Метод переработки	Достоинства	Недостатки
Битумирование	Относительная простота процесса	Пожароопасность. Увеличение объема отходов. Расслоение битума в процессе хранения. Биокоррозия. Газообразование
Цементирование	Относительная простота. Пожаробезопасность	Необходимость корректировки состава КО. Увеличение объема отходов
Ионоселективная очистка	Оптимальное фракционирование радионуклидов. Возможность извлечения ценных компонентов для рецикла	Сложная технология. Получение трех видов отходов. Необходимо наличие нескольких установок
Упаривание до солей	Простота процесса	Отсутствие формообразующей матрицы для продукта переработки (солевой плав)

• установку цементирования РАО КРН20-30.

Таким образом организована переработка жидких радиоактивных сред посредством двух независимых взаимозаменяемых технологических цепочек, включающих технические средства, основанные на разных методах иммобилизации радионуклидов – ионоселективная очистка, упаривание, цементирование.

Принцип действия установки ионоселективной очистки 10,20КРФ20-30 основан на свойствах селективной сор-

бции радионуклидов некоторыми веществами с последующей фильтрацией через систему фильтров. Очистка трапных вод от радионуклидов цезия осуществляется путем обработки воды ионоселективным сорбентом (ферроцианид). Очищенная от радионуклидов трапная вода подлежит упариванию с образованием нерадиоактивных твердых отходов.

Ранее способ ионоселективной очистки солевых растворов был реализован на Кольской АЭС при пе-

реработке кубового остатка, накопленного в ХЖО за более чем 30-летний период эксплуатации энергоблоков (1973–2006 гг.) [2]. Особенностью данного вида отходов является достаточно простой радионуклидный состав, определяемый радионуклидами Cs-137,134 и Co-60, которые составляют 99,9% активности [2]. Таким образом, для решения задачи очистки кубового остатка от радионуклидов в УИСО Кольской АЭС были реализованы следующие технологические процессы:

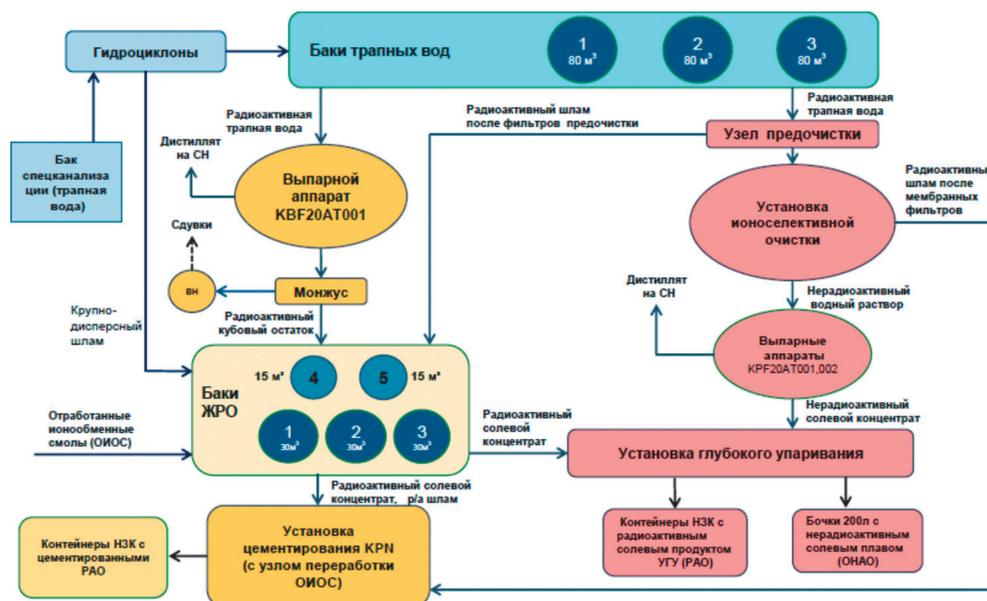


Рис.1. Схема переработки ЖРО (использование взаимозаменяемых технологий).

- озонирование кубового остатка с целью разрушения органических веществ с переводом нуклидов кобальта в нерастворимую форму;
 - очистка кубового остатка от радионуклидов кобальта путем фильтрации;
 - очистка ЖРО от радионуклидов цезия путем сорбции на ионоселективном сорбенте. При этом процесс сорбирования радионуклидов из очищаемой воды осуществляется в специальном изделии (филт্রে-контейнере) [2].
- Недостатком указанной технологии является достаточно высокая стоимость применяемых фильтров-контейнеров;
- упаривание очищенного от радионуклидов раствора до чистых солей (рис.2).

На блоках 1-2 НВАЭС-2 технология ионоселективной

очистки была применена для переработки образованных трапных вод, обладающих существенно более сложным радионуклидным составом.

В технологию очистки был внесен ряд существенных изменений. Например, применена технология дозирования ионоселективных сорбентов непосредственно в очищаемую среду, без применения фильтров-контейнеров. Радионуклиды, содержащиеся в трапной воде, сорбируются из раствора и концентрируются в шламе, отделяемом путем механической фильтрации. Шлам, в качестве ЖРО, направляется на установку цементирования системы КРН и в виде цементного компаунда упаковывается в контейнеры НЗК для дальнейшего временного хранения.

Учитывая то, что универсальные сорбенты, позволяющие производить очистку воды от всего спектра радионуклидов, пока не созданы, для извлечения радионуклидов Cs-134 и Cs-137 был применен сорбент марки СФНМ, получаемый путем совместного осаждения ферроцианида никеля на меловую основу.

Дополнительно для решения задачи по очистке трапной воды от других радионуклидов применены следующие методы:

- окисление присутствующих в трапных водах органических соединений для перевода радионуклидов коррозионного происхождения (Co, Fe, Mn) в нерастворимую форму с помощью дозирования перекиси

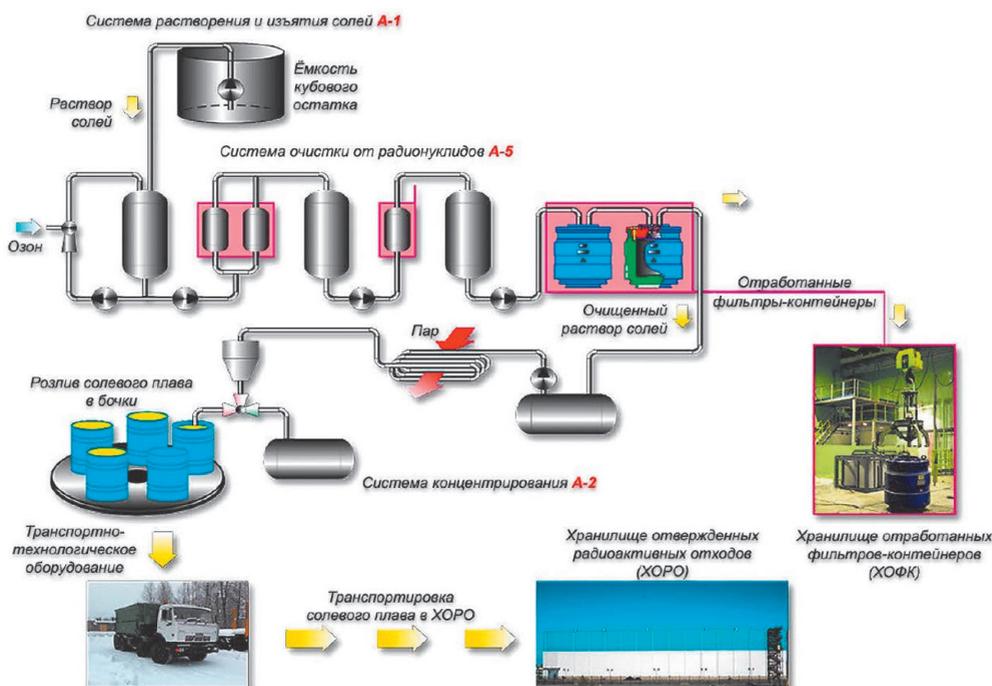


Рис.2. Принципиальная схема переработки кубового остатка на УИСО Кольской АЭС.

Таблица 2.

Радионуклид	Объемная активность радионуклидов в трапной воде до переработки, Бк/л	Объемная активность радионуклидов в трапной воде после переработки, Бк/л
Co-60	7	-
Mn-54	65	2
Co-58	35	-
Nb-95	19	-
As-76	67	-
Cr-51	388	-
Sb-122	724	5
Sb-124	3994	33
Na-24	81	4
K-42	284	-
Be-7	3484	-
Tc-99m	100	7
Mo-99	75	-

- водорода с последующим подогревом среды;
- сосаждение радионуклидов бериллия (Be-7), сурьмы (Sb-124,125) и ряда других элементов на частицах гидроксида железа (III), получаемого при вводе коагулянта в обрабатываемую среду. В качестве коагулянта используется азотнокислое и серноокислое железо;
 - отделение радиоактивного шлама путем микрофльтрации образующейся суспензии на механических фильтрах после каждой стадии (ступени) очистки, и направления полученного жидкого шлама на узел цементирования ЖРО;
 - концентрирование солей в очищенной от радионуклидов и мехпримесей трапной воде методом термического выпаривания с доупариванием на УГУ.

Технологический процесс предусматривает поэтапную коррекционную обработку трапной воды с последовательной фильтрацией радиоактивных водных растворов:

- на фильтрах предочистки (номинал фильтрации ≈ 10 мкм);
- на фильтрах 1 ступени очистки (номинал фильтрации ≈ 2 мкм);
- на мембранных фильтрах 2-й ступени очистки (номинал фильтрации $\approx 0,2$ мкм).

С целью разрушения органических веществ, образующих комплексные соединения с радионуклидами и снижающих эффективность очистки, исходная вода подвергается обработке перекисью водорода с последующим нагревом. Результаты опытно-промышленной эксплуатации установки КРФ20-30 показали удовлетворительное качество данного способа

разрушения органических веществ сравнительно с технологией озонирования, применяемой на Кольской АЭС. При этом радионуклиды коррозионного происхождения (Co-60, Co-58, Mn-54, Cr-51 и др.) выпадают в осадок в виде шлама и извлекаются из воды путем фильтрации.

По результатам опыта эксплуатации энергоблока 1 НВАЭС-2 в трапной воде было выявлено наличие радионуклидов (в частности, Be-7 ($T_{1/2} = 53,3$ сут.), Sb-124 ($T_{1/2} = 60,2$ сут.), Sb-125 ($T_{1/2} = 2,8$ г.)), для которых проектный способ ионоселективной очистки оказался малоэффективным.

Наличие указанных радионуклидов в исходной трапной воде привело к тому, что удельная активность солевого продукта УГУ (конечного продукта переработки по доработанной проектной схеме УИСО – УГУ) может превышать нижнюю границу отнесения к РАО, установленную Приложением 5 к ОСПОРБ-99/2010. В этом случае хранение получаемого продукта на полигоне ОНАО является недопустимым.

На основе опыта ПНР и эксплуатации УИСО на блоке 1 НВАЭС-2 в проекте установки для блока 2 был принят ряд дополнительных технических решений, включающих:

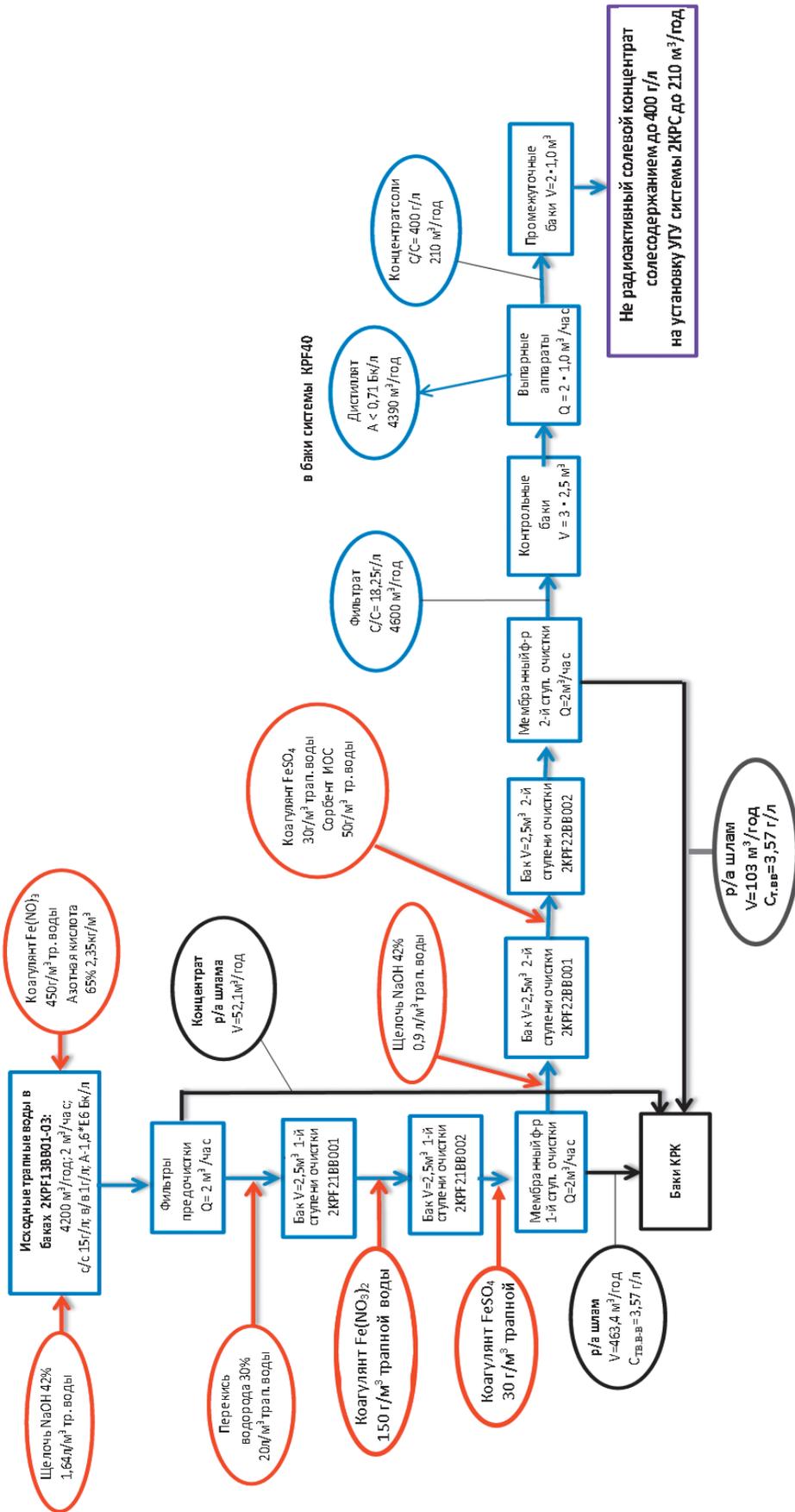


Рис.3. Балансовая схема доработанной установки ионоselectивной очистки 20КРФ20-30.

- установку фильтров предочистки, в конструкции которых предусмотрена вращающаяся на роторе внутри корпуса конструкция сборной системы из фильтрующих элементов;
- изменение конструкции фильтров 1 ступени очистки с реализацией принципа тангенциальной фильтрации и с изменением типа фильтрующих элементов в фильтрах;
- повышение производительности насосных агрегатов 20KPF13AP001,002;
- внедрение технологий очистки водных сред от радионуклидов сурьмы, бериллия;
- установка дополнительных баков в системе хранения ЖРО и т. д.

Итоговая балансовая схема доработанной установки ионоселективной очистки 20KPF20-30 показана на рис.3.

В результате лабораторных испытаний и опытной эксплуатации доработанной УИСО установлено, что метод осаждения радионуклидов сурьмы и бериллия при коагуляции на частицах гидроксида железа (III) обладает высокой эффективностью по отношению ко всему спектру радионуклидов.

Недостатком указанной технологии очистки трапной воды от радионуклидов сурьмы и бериллия является образование большого

объема вторичных отходов в виде водной взвеси гидроксида железа с концентрацией от 3 до 150 г/л, загрязненной радионуклидами. При проектном образовании трапной воды 4200 м³/год на один блок оценочно объем указанных отходов составит порядка 500 м³/год.

Проектом блоков 1-2 НВАЭС-2 не предусмотрены штатные установки для концентрирования указанных отходов. Осуществление процесса коагуляции непосредственно в штатных баках трапных вод, отстаивание взвесей в этих же баках, использование для концентрирования мелкодисперсного шлама, получаемого при коагуляции трапной воды, штатных фильтров с номиналом фильтрации 2–10 мкм оказалось малоэффективным.

Цементирование указанных водных взвесей гидроксида железа на установке 20KPN20-30 без предварительного концентрирования приводит к образованию 1000 м³/год слабоактивного бетона и является экономически неоправданным.

Предположительно концентрирование гидроксида железа до солесодержания ≈400 г/л можно осуществить центрифужным методом. Известно использование центрифужного метода очистки

жидких радиоактивных сред на зарубежных АЭС (Олжилуото и др.).

При отсутствии в исходной трапной воде радионуклидов сурьмы и бериллия доработанная УИСО демонстрирует необходимую эффективность и проектную производительность.

Следует отметить, что АО «ВНИИАЭС» в 2018–2019 гг. начаты работы по изучению ионоселективных свойств сорбентов по отношению к радионуклидам сурьмы, содержащимся в водных растворах.

С целью дальнейшего совершенствования обращения с жидкими радиоактивными средами энергоблоков 1-2 НВАЭС-2 планируется организовать выполнение НИОКР с целью:

- завершения работ по определению наиболее эффективных способов удаления радионуклидов сурьмы, бериллия из трапной воды, выработке рекомендаций по дальнейшей доработке проектной схемы очистки трапной воды на блоках 1-2 НВАЭС-2;
- анализ механизмов образования радионуклидов сурьмы, бериллия при эксплуатации блоков 1-2 НВАЭС-2, выработке рекомендаций по минимизации образования указанных радионуклидов и их попадания в трапные воды.

Литература

1. Сорокин В.Т. Обоснование безопасности захоронения солевого плава, образующегося на установках глубокого упаривания АЭС, размещенного в контейнерах НЗК-150-1,5П // Радиоактивные отходы. 2019. № 2(7). С. 31-39.
2. Аvezниязов С.Р., Стахив М.Р. Опыт работы по обращению с ЖРО на Кольской АЭС // Радиоактивные отходы. № 4(5). 2018. С. 49-53.

Experience in Implementation of Systems Applied for Drainage Water Ion-Selective Purification from Radionuclides at Units 1,2 of Novovoronezh-2 NPP

Povarov Vladimir, Gusev Igor, Rosnovsky Sergey, Statcura Dmitrii, Kazanskiy Vladimir, Goncharov Evgeny, Melnikov Eduard, Volkov Alexander, Bulka Svetlana (Rosenergoatom, Joint-Stock Company (REA JSC) Novovoronezh Nuclear Power Plant (Novovoronezh NPP), Novovoronezh, Russia)
Korneev Ivan, Ivanov Evgeny (Open Joint Stock Company "All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation" (OJSC VNIIAES), Moscow, Russia)

Abstract. The article is dedicated to the assessment of the experience in drainage water purification from radionuclides using ion-selective purification method on Units 1,2 Novovoronezh-2 NPP. Application of an ion-selective sorbent based on nickel ferrocyanide, as well as the preliminary oxidation of corrosive origin radionuclides, allow to achieve a satisfactory quality of purification from Cs-134, Cs-137, Co-60, Co 58, Mn-54, Cr-51. However, this method turned out to be ineffective for drainage water purification from Be-7, Sb-124, Sb-125. The article presents a possible method for drainage water purification from Be-7, Sb-124, Sb-125 using an iron-based coagulant, prospects for the modernization of the ion-selective drainage water purification plant, as well as plans to improve methods for drainage water purification at Novovoronezh-2 NPP.

Key words: ion-selective purification, ion-selective purification plant, sorbent, drainage water, modernization, coagulation, beryllium, antimony.

В.П.Поваров (директор НВАЭ), И.Н.Гусев (зам.гл.инж.),
С.В.Росновский (зам.гл.инж.), Д.Б.Стацера (зам.гл.инж.), В.Р.Казанский (нач.управ.),
Е.В.Гончаров (нач.цеха), Э.С.Мельников (нач.цеха), А.С.Волков (гл.технолог),
С.К.Булка (зам.нач.цеха) – Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС»,
г. Нововоронеж;

Е.А.Иванов (к.т.н., с.н.с., зам.директора); И.И.Корнеев (рук. Департамента) –
АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных
электростанций» АО «ВНИИАЭС», г. Москва.

Контакты: тел. +7 (495) 376-13-20; e-mail: iikorneev@vniiaes.ru.