

### ОПЫТ РАБОТЫ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ЖРО НА КОЛЬСКОЙ АЭС

С. Р. Аvezниязов<sup>1</sup>, М. Р. Стахив<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» Кольская АЭС, г. Полярные Зори

<sup>2</sup>АО «Концерн Росэнергоатом», Москва

Статья поступила в редакцию 4 октября 2018 г.

*В статье рассмотрены вопросы создания и эксплуатации комплекса переработки ЖРО Кольской АЭС, который в полном объеме был сооружен в 2009 году. Дано описание применяемых технологий отверждения ЖРО и охарактеризованы эксплуатируемые установки. Определены перспективные задачи по модернизации установок комплекса обращения с ЖРО и повышению эффективности технологий в контексте передачи РАО на захоронение.*

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы, переработка радиоактивных отходов, жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), комплекс по переработке ЖРО, ионоселективная очистка ЖРО, цементирование ЖРО.

#### Введение

Кольская АЭС является основой электроэнергетики Заполярья и соответствует действующим нормам и правилам в области использования атомной энергии. Пуск первого блока состоялся в 1973 году, и в настоящее время на станции эксплуатируются четыре энергоблока, мощностью 440 МВт каждый.

Еще в начале 90-х годов прошлого века на Кольской АЭС сложилось понимание того, что дальнейшая эксплуатация невозможна без своевременного принятия решений по эффективному и безопасному обращению с радиоактивными отходами. Это период стал отправным в части поиска и реализации современных для того времени технологий и оборудования по переработке и кондиционированию радиоактивных отходов. Так, например, было принято решение, успешно реализованное в 1996 году, о модернизации узла очистки дымовых газов установки сжигания твердых радиоактивных отходов.

Другим направлением работ, проводимых в сотрудничестве с фирмой NUKEM (Германия), стало создание комплексов по обращению с жидкими радиоактивными отходами. Предложенные западным партнером технологии были стандартным для того времени:

- цементирование отработанных ионообменных смол и шламов;
- цементирование (с предварительным концентрированием на установке глубокого упаривания) кубовых остатков.

В результате работы трех партнеров (Кольская АЭС, NUKEM, Санкт-Петербургский институт «Атомэнергопроект») в 1994 году был разработан проект «Комплекс переработки жидких радиоактивных отходов (в части технологии фирмы NUKEM GmbH)».

При этом существовало понимание того, что метод цементирования, наряду со своими достоинствами (простота технологии, надежная имобилизация радионуклидов), имеет серьезный

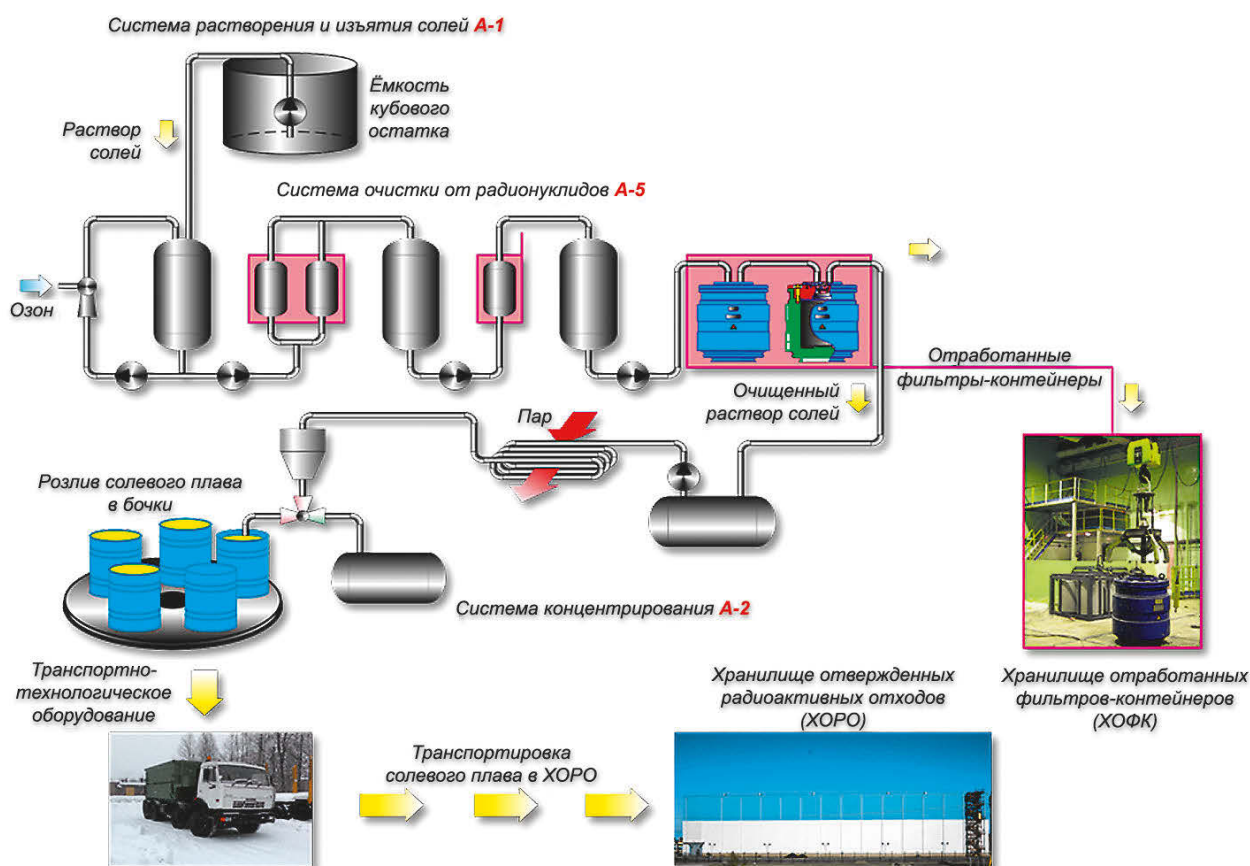


Рис. 1. Принципиальная схема переработки кубового остатка

недостаток — увеличение объема кондиционированных РАО ввиду незначительного включения ЖРО в цементную матрицу.

Поэтому появление в 1995 году технологии переработки ЖРО, базирующейся на совершенно иных физико-химических процессах, а именно ионоселективной очистки кубового остатка, было воспринято на Кольской АЭС с большим оптимизмом. Авторами новой технологии стали: ВНИИАЭС, МосНПО «Радон», ЗАО «РАОТЕХ», ЗАО «Альянс-Гамма».

После лабораторных исследований эта технология была апробирована на нескольких АЭС Российской Федерации, в т. ч. на Кольской АЭС, и на Мангышлакском атомно-энергетическом комбинате (Казахстан). На Первой в мире АЭС (г. Обнинск) была испытана опытно-промышленная установка производительностью 100 л/ч.

Имеющиеся данные позволили специалистам Кольской АЭС совместно с Санкт-Петербургским институтом «Атомэнергопроект» выполнить технико-экономическое сравнение вариантов переработки ЖРО, а на основании его результатов разработать новую концепцию обращения с ЖРО, базирующуюся на технологии их ионоселективной очистки от радионуклидов (рис. 1).

В 2013 году была утверждена стратегия АО «Концерн Росэнергоатом» [1], в которой предусмотрен широкий набор мер: начиная от снижения образования РАО и до развития систем их переработки с обеспечением переработки всех

образующихся и накопленных РАО и приведением их в соответствие с установленными критериями приемлемости [2]. Комплекс по переработке (КП) ЖРО Кольской АЭС соответствует данной стратегии, как и другие КП [3], включая КП РАО Смоленской АЭС [4].

### Опыт работы КП ЖРО

Ввод в эксплуатацию комплекса переработки ЖРО Кольской АЭС осуществлялся в 2 этапа:

- 2006 год — введено в эксплуатацию здание комплекса переработки ЖРО (КПЖРО), включающего систему изъятия ЖРО из хранилища жидких отходов (ХЖО) I очереди, систему очистки ЖРО от радионуклидов, систему концентрирования, вспомогательные системы и системы управления. Тем самым введен в эксплуатацию первый пусковой комплекс, обеспечивающий переработку основного вида ЖРО;
- 2008—2009 гг. — КП ЖРО введен в эксплуатацию в полном объеме, включая хранилище отвержденных отходов, систему цементирования, систему изъятия ЖРО из ХЖО II очереди, трубопроводный туннель между спецкорпусом № 2 и КПЖРО, систему радиационного контроля и др. (рис. 2 и 3).

В разработке и реализации проекта модернизации системы обращения с ЖРО Кольской АЭС приняли участие:



Рис. 2. Сооружение КП ЖРО



Рис. 3. Современный вид КП ЖРО

- Санкт-Петербургский институт «Атомэнергопроект» — генеральный проектировщик;
- ЗАО «РАОТЕХ» — проектировщик системы ионоселективной очистки;
- фирма NUKEM — проектирование и поставка установок изъятия ЖРО и концентрирования;
- фирма AREVA и «СвердНИИХиммаш» — проектирование и поставка системы цементирования и транспортно-технологического оборудования.

Также следует отметить организации, внесшие значительный вклад в выполнение пуско-наладочных работ: ЗАО «Совасатом», ЗАО «Альянс-Гамма», ЗАО «РТ Софт».

Комплекс переработки кубовых остатков Кольской АЭС включает в себя несколько основных установок:

- растворения и изъятия солей на переработку;
- очистки ЖРО от радионуклидов;
- концентрирования (глубокого упаривания) очищенного раствора;

Управление всеми стадиями переработки, а также вспомогательными системами осуществляется со щита управления КП ЖРО (рис. 4) с использованием современных программно-технических комплексов. В необходимых местах для контроля оборудования предусмотрены видеокамеры с выводом изображения на щит управления.



Рис. 4. Общий вид щита управления КП ЖРО

В основе процесса переработки кубовых остатков лежат процессы селективной сорбции радионуклидов  $^{60}\text{Co}$  и  $^{134,137}\text{Cs}$ , которые составляют 99,9% активности.

Химический состав кубовых остатков представлен в основном такими ионами, как  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}_3^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{BO}_3^{3-}$  и др.

В результате ионоселективной очистки образуется раствор, содержание радионуклидов в котором не превышает предельных значений удельной активности, установленных в Постановлении Правительства Российской Федерации [5].

Данные значения являются определяющими и служат критериями принятия решения о направлении очищенных растворов на установку глубокого упаривания. На практике принимается также во внимание, что при концентрировании растворов (глубокое упаривание), приводящем к образованию отвержденного солевого продукта (солевого плава), происходит увеличение его удельной активности. Образующийся солевой плав подвергается радиационному контролю, целью которого в данном случае является гарантированное получение твердого продукта, который не относился бы к радиоактивным отходам (рис. 5).

В истории эксплуатации КП ЖРО можно выделить несколько этапов:

1. Освоение технологии. На данном этапе была подтверждена работоспособность выбранной технологии. Выявлено «проблемное» оборудование, а также технологические операции.

2. Модернизация оборудования. Проведена модернизация оборудования с целью повышения его эффективности и надежности. Так, например, была выполнена замена генераторов кислорода и озона, смонтированы дополнительные линии узлов предварительной и мембранной фильтрации с фильтрами более надежной конструкции.

3. Выполнение исследовательских работ, направленных на совершенствование самой технологии. Была исследована растворимость боратов в кубовых остатках для определения их максимальной концентрации, при которой не будет происходить кристаллизация в трубопроводах



Рис. 5. Радиационный контроль продуктов переработки кубового остатка

и оборудовании комплекса, но достаточной для получения кристаллического плава после глубокого упаривания.

В ходе проведенных работ:

- Выполнены исследования отходов из отдельных (проблемных) емкостей ХЖО с целью изучения физико-химических свойств сред и разработки рекомендаций по оптимизации режимов озонирования, определены «мешающие» химические компоненты.
- Определены условия совместной переработки декантата кубового остатка и растворов кристаллических отложений.
- Выполнены исследования по селективной очистке ЖРО на сорбенте «Термоксид-35» с целью гарантированного получения необходимой степени очистки.
- Проведены исследования технологий введения дополнительных химических веществ с целью повышения эффективности выделения изотопов кобальта.
- Проработаны вопросы создания фильтра-контейнера с меньшей толщиной биозащиты и выполнены расчеты экономической эффективности его изготовления и др.

Результаты исследований и их частичное применение привели к достаточно стабильной работе комплекса, однако достичь проектной производительности комплекса 3600 м<sup>3</sup>/год на сегодняшний день не удалось.

Проектом КП ЖРО предусмотрена переработка в год:

- не менее 936 м<sup>3</sup> декантата кубового остатка;
- не менее 2664 м<sup>3</sup> растворов кристаллических отложений.

В последние годы КП ЖРО достиг средней производительности 2200 м<sup>3</sup>/год, в т. ч.:

- около 2000 м<sup>3</sup> растворов кристаллических отложений;
- 100—200 м<sup>3</sup> декантата.

Такое отклонение связано прежде всего со следующим: в проекте выполнено обоснование

производительности центральной системы комплекса — очистки от радионуклидов — уже на основании имеющейся проектной документации по другим системам. При этом заданная производительность 0,5 м<sup>3</sup>/ч обоснована расчетом, основанным на такой характеристике исходных ЖРО, как окисляемость (химическое потребление кислорода — ХПК), и расходе озона, потребляемого на разрушение органических веществ и, соответственно, снижение ХПК. В результате расчета показано, что полное озонирование одной партии ЖРО может быть завершено за одну смену, т. е. за 8 часов. На практике этот процесс может длиться 12—16 часов ввиду сложности химического состава ЖРО. Увеличение же расхода озона приводит к росту доли непрореагировавшего озона и негативному воздействию на узел дожигания остаточного озона, а также к росту температуры среды, что отрицательно сказывается на эффективности озонирования.

Еще одной технологической системой комплекса является установка цементирования. Установка была введена в эксплуатацию, в ходе пуско-наладочных работ выполнено опробование технологии для цементирования отработанных ионообменных смол, а также шламов. В настоящее время система находится в резерве. Кольская АЭС, как и многие другие АЭС, считает, что более эффективным процессом является сушка таких сред.

В целом, благодаря работе комплекса, удалось решить проблему переработки кубовых остатков, накопленных за годы эксплуатации Кольской АЭС, и повысить уровень радиационной и экологической безопасности за счет сокращения количества хранящихся ЖРО и их перевода в устойчивые формы, пригодные для безопасного обращения и захоронения. За 12 лет эксплуатации КП ЖРО выведено из категории «радиоактивные отходы» более 2500 тонн солей, содержавшихся в исходном кубовом остатке. В декабре 2008 года проекту КП ЖРО Кольской АЭС присуждена премия Министерства природных ресурсов РФ за «Лучший экологический проект года».

Для полного завершения процесса обращения с ЖРО Кольская АЭС инициировала проведение НИОКР по выделению полезных химических компонентов из продуктов переработки кубового остатка.

Целями данной работы являлись:

- создание завершеного процесса переработки кубовых остатков с минимальным количеством вторичных отходов;
- обеспечение потребности КП ЖРО Кольской АЭС в реагентах (техническая кислота и щелочь) для обеспечения водно-химических режимов установок;
- выделение борной кислоты товарного качества (марка «А» по ГОСТ 18704-78) для повторного использования или реализации.

В процессе выполнения НИОКР (исполнитель — Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева Кольского научного центра РАН):

- проведены патентно-информационные исследования технологий получения реагентов из солевых растворов, обосновано выбранное направление работ;
- разработана технология по выделению борной кислоты из солевого плава/очищенных от радионуклидов растворов, отработаны оптимальные режимы;
- разработана технология по получению реагентов (кислоты и щелочи) из солевого плава/очищенных от радионуклидов растворов, отработаны оптимальные режимы;
- разработаны исходные данные для проектирования опытно-промышленной установки по выделению борной кислоты, азотной кислоты и щелочи.

В результате на Кольской АЭС дан старт проекту «Выделение борной кислоты из продуктов переработки кубового остатка на КП ЖРО» и заключен договор на выполнение проектных работ.

Реализация данного проекта позволит также снизить затраты на эксплуатацию объекта за счет отсутствия необходимости закупки химических реагентов и сокращения закупок ряда расходных материалов.

## Литература

1. Стратегия обращения с радиоактивными отходами АО «Концерн Росэнергоатом»: Утв. Госкорпорацией «Росатом» 06.12.2013 : введена в действие приказом Концерна от 19.03.2014 № 9/2790-П.
2. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения (НП-093-14) : Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии : Утв. приказом Ростехнадзора РФ от 15.12.2014 № 572. Введ. 12.04.15 // Ядерная и радиационная безопасность. — 2015. — № 3. — С. 59—82.
3. Качан П. П., Краснов И. М., Стахив М. Р. Опыт эксплуатации комплекса переработки радиоактивных отходов на Смоленской АЭС // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 1 (2). — С. 33—41.
4. Стахив М. Р. Опыт обращения с РАО на АЭС АО «Концерн Росэнергоатом». URL: [http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2017/materials/05.Staxiv\\_Opyt\\_obrashheniya\\_s\\_RAO\\_na\\_AES\\_KREA.pdf](http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2017/materials/05.Staxiv_Opyt_obrashheniya_s_RAO_na_AES_KREA.pdf).
5. О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов : Утв. постановлением Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069.

---

## Информация об авторах

Аvezниязов Слава Ринатович, начальник центра обращения с радиоактивными отходами, филиал АО «Концерн Росэнергоатом» Кольская АЭС (Мурманская обл., г. Полярные Зори), e-mail: AvezniyazovSR@kolatom.murmansk.ru.

Стахив Михаил Романович, заместитель директора департамента инженерной поддержки (ОЯТ, РАО и ПВЭ), АО «Концерн Росэнергоатом», (115191, Москва, Холодильный пер., 3а), e-mail: stakhiv-mr@rosenergoatom.ru.

## Библиографическое описание статьи

Аvezниязов С. Р., Стахив М. Р. Опыт работы по обращению с ЖРО на Кольской АЭС // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 4 (5). — С. 49—54.

---

## EXPERIENCE OF RECYCLING THE LIQUID RADIOACTIVE WASTE AT THE KOLA NPP

Avezniyazov S. R.<sup>1</sup>, Stakhiv M. R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kola NPP, Polyarnye Zori, Russia

<sup>2</sup>Joint-stock company (JSC) "Concern Rosenergoatom", Moscow, Russia

Article received 4 October 2018

This article considers the issues of implementation and operation LRW reprocessing complex for Kola NPP operational waste, which was built in 2009. The description of the applied technologies for LRW solidification and the operating

units are given. Prospective tasks for upgrading the LRW reprocessing complex and increasing the efficiency of technologies in the context of transferring radioactive waste to disposal facilities have been identified.

**Keywords:** radioactive waste (RW), liquid radioactive waste (LRW), LRW reprocessing complex, RW reprocessing, ion-selective sorption, cementation of LRW.

### References

1. Strategiya obrashcheniya s radioaktivnymi othodami AO «Koncern Rosehnergoatom»: Utv. Goskorporaciej «Rosatom» 06.12.2013 : vvedena v dejstvie prikazom Koncerna ot 19.03.2014 № 9/2790-P.
2. Kriterii priemlemosti radioaktivnyh othodov dlya zahoroneniya (NP-093-14) : Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii : Utv. prikazom Rostekhnadzora RF ot 15.12.2014 № 572. Vved. 12.04.15. *Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost' [Nuclear and Radiation Safety]*, 2015, no. 3, pp. 59–82.
3. Kachan P. P., Krasnov I. M., Stakhiv M. P. Experience of exploiting the radioactive waste recycling complex at the Smolensk NPP. *Radioactive Waste*, 2018, no 1 (2), pp. 33–41. (In Russian).
4. Stakhiv M. R. Opyt obrashcheniya s RAO na AEHS AO «Koncern Rosehnergoatom». Available at: [http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2017/materials/05.Stakhiv\\_Opyt\\_obrashheniya\\_s\\_RAO\\_na\\_AES\\_KREA.pdf](http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2017/materials/05.Stakhiv_Opyt_obrashheniya_s_RAO_na_AES_KREA.pdf).
5. O kriteriyah otneseniya tverdyh, zhidkih i gazoo-braznyh othodov k radioaktivnym othodam, kriteriyah otneseniya radioaktivnyh othodov k osobym radioaktivnym othodam i k udalyaemym radioaktivnym othodam i kriteriyah klassifikacii udalyaemyh radioaktivnyh othodov : Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 19 oktyabrya 2012 g. № 1069.

---

### Information about the authors

*Avezniyazov Slava Rinatovich*, Head of Radioactive Waste Management Department, Kola NPP (Murmansk Region, Polyarnye Zori), e-mail: [AvezniyazovSR@kolatom.murmansk.ru](mailto:AvezniyazovSR@kolatom.murmansk.ru).

*Stakhiv Mikhail Romanovich*, Deputy Director of Engineering Support Department, Joint-stock company (JSC) «Concern Rosenergoatom» (3a, Holodilny per., Moscow, Russia, 115191), e-mail: [stakhiv-mr@rosenergoatom.ru](mailto:stakhiv-mr@rosenergoatom.ru).

### Bibliographic description

Avezniyazov S. R., Stakhiv M. R. Experience of recycling the liquid radioactive waste at the Kola NPP. *Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 49–54. (In Russian).