

УДК 621.039.7

DOI 10.53403/9785951505170\_2021\_26\_2\_180

# Модульный комплекс по обезвреживанию технологических жидкостей, загрязненных радиоактивными веществами

Н. Т. Казаковский, В. А. Королев

*РФЯЦ-ВНИИЭФ занимает лидирующие позиции в области создания и развития ядерных технологий как гражданского, так и военного назначения. Накопленный за годы исследований научно-исследовательский потенциал позволяет решать уникальные задачи в сфере обращения с радиоактивными материалами и устройствами, их содержащими, на всех этапах жизненного цикла. Разработанные технологические подходы, обеспечивающие безопасное обращение с радиоактивными отходами, легли в основу модульного комплекса по обезвреживанию технологических жидкостей, загрязненных радиоактивными веществами.*

## Введение

Решение проблем по переработке, хранению и окончательной изоляции РАО, как накопленных за время реализации атомного проекта в СССР, так и образующихся в настоящее время, является важной государственной задачей. Федеральный закон № 190-ФЗ от 11.07.2011 г. «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» обязывает все организации, в результате деятельности которых образуются РАО, производить их утилизацию за счет собственных средств. Окончательную изоляцию РАО осуществляет созданный в 2012 г. «Национальный оператор по обращению с РАО» (НоРАО). Услуги по переработке жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и доведения их до состояния, которое удовлетворяет критериям приемлемости НоРАО, оказывают предприятия «РосРАО» и «Радон». Транспортировка ЖРО к месту проведения работ по кондиционированию экономически затратная, а их долговременное хранение требует наличия у организаций соответствующих лицензий.

В общих требованиях к обеспечению безопасности при сборе, переработке, кондиционировании и хранении ЖРО, закрепленных в федеральных нормах и правилах Российской Федерации в области использования атомной энергии (федеральный закон «Об обращении с радиоактивными

отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 190-ФЗ от 11.07.2011 г.; федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» НП-093-14 (утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 572 от 15.12.2014 г.; федеральный закон «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ от 21.11.1995 г.; федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности», НП-019-15 от 10.08.2015 г.), соответствующих нормам безопасности МАГАТЭ (нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды, «Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Конкретные требования безопасности», Международное агентство по атомной энергии, Австрия, Вена, 2012 г.; нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды, «Основополагающие принципы безопасности. Основы безопасности», Международное агентство по атомной энергии, Австрия, Вена, 2007 г.), ключевым аспектом является поддержание требуемого уровня безопасности при обращении с ЖРО как источником ионизирующего излучения. Целью кондиционирования ЖРО является уменьшение возможности распространения радионуклидов при переработке, хранении, транспортировании и окончательной изоляции. Кондиционированные РАО должны иметь твердое агрегатное состояние, характеризующееся оптимальной устойчивостью к радиационному, механическому, химическому, тепловому и биологическому воздействиям (Радиоактивные отходы. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002)СП 2.6.6.1168-02). Одним из путей решения данной задачи является снижение класса опасности ЖРО за счет выделения из них нерастворимых высокоактивных твердых компонентов, а также отверждение жидкой фракции. Наиболее рациональным решением с точки зрения экологической безопасности и экономической целесообразности является реализация данных мероприятий на месте образования отходов с целью снижения класса опасности.

Управляемый термоядерный синтез на основе топливной смеси с высоким содержанием трития остается наиболее перспективным направлением развития энергетики в обозримом будущем. В результате проводимых в данном направлении исследований и модельных экспериментов образуются РАО технологических жидкостей, загрязненные тритием. Среди них могут быть вода и водные растворы, нефтяные масла и различные органические растворители. Тритий является радионуклидом с высокой миграционной способностью. Поэтому в действующих нормах и правилах он отнесен в отдельный класс по количественному содержанию в составе РАО.

### *Анализ российского и международного опыта*

В Российской Федерации исторически сложилась такая модель обращения с РАО, при которой предприятия и лаборатории накапливают образующиеся ЖРО, а затем передают их на специализированные предприятия. В результате того что рынок фактически монополизирован, стоимость данных услуг крайне высока. Второй негативный момент относится непосредственно к переработке ЖРО: при накоплении больших партий родственных типов отходов происходят их смешивание и усреднение по составу, что, в свою очередь, вызывает необходимость использовать при их переработке универсальные, но при этом не всегда эффективные подходы. Переработка ЖРО большими партиями требует применения технически сложного и высокопроизводительного оборудования, высокие капитальные вложения и расходы на эксплуатацию которого прямым об-

разом влияют на стоимость переработки. Отдельной проблемой, с точки зрения безопасности окружающей среды и постоянно ужесточающихся нормативных требований, является необходимость транспортировки ЖРО к месту переработки. В связи с этим на многих предприятиях предпринимаются меры по предварительному кондиционированию ЖРО перед отправкой на длительное хранение.

В мировой практике обязанность за кондиционирование РАО и доведение до критериев приемлемости, выдвигаемых пунктами окончательной изоляции отходов, возлагается на организации, в результате деятельности которых они образовались. Несмотря на большое количество различных методов переработки водных и органических ЖРО, путем деструктивных воздействий, наиболее приемлемыми все же являются способы прямого отверждения с использованием универсальных отвердителей с высокой поглотительной способностью.

Наиболее широко используемыми в лабораторной практике материалами для отверждения водных и органических ЖРО на мировом рынке в настоящее время являются полимерные композиции N910 Petrobond и N960 Asidbond, выпускаемые американской фирмой «Nochar». Даже несмотря на высокую стоимость (~2000 долларов/кг.) эти полимеры остаются востребованными ввиду практического отсутствия конкурентов. Однако, помимо цены при использовании полимеров Nochar, имеется необходимость применения дополнительных изолирующих материалов для обеспечения требуемого уровня локализации радионуклида в соответствии с требованиями действующих норм и правил. Монополизация производства конкретной фирмой на территории США и отсутствие аналогов ведут к возможности появления рисков и неопределенностей при поставках в условиях санкционного давления.

На основании обобщения имеющейся информации можно сделать вывод, что наиболее предпочтительной является такая организация деятельности, при которой исследователь перед началом проведения каждого конкретного эксперимента определяет, к какому типу будут относиться полученные в результате эксперимента РАО, и планирует методологию их утилизации в соответствии с имеющимися в его распоряжении технологиями. Такая практика полностью соответствует международной концепции о предварительном планировании и непрерывном контроле на всем жизненном цикле источников ионизирующего излучения от образования до окончательной изоляции.

### *Предлагаемое решение*

В РФЯЦ-ВНИИЭФ в последнее время был разработан и успешно внедрен ряд технологий и отверждающих материалов, позволяющих проводить фракционное разделение и отверждение отходов технологических жидкостей, загрязненных тритием. Для решения проблемы утилизации двухфазных ЖРО предложено проводить фракционное разделение отходов с выделением высокоактивной твердой дисперсной фазы для отдельной переработки [1]. Отверждение нефтяных масел, а также сцинтилляционных жидкостей и органических растворителей предложено проводить с использованием отвердителя на основе композиции из твердых и микрокристаллических предельных углеводов [2, 3]. Образующиеся водные и водно-солевые растворы, содержащие тритий, предполагается отверждать путем перевода в устойчивые кристаллогидраты [4]. Для от-

верждения высокоактивных ЖРО воды и водных растворов предложен способ утилизации без их контакта с окружающей средой [5].

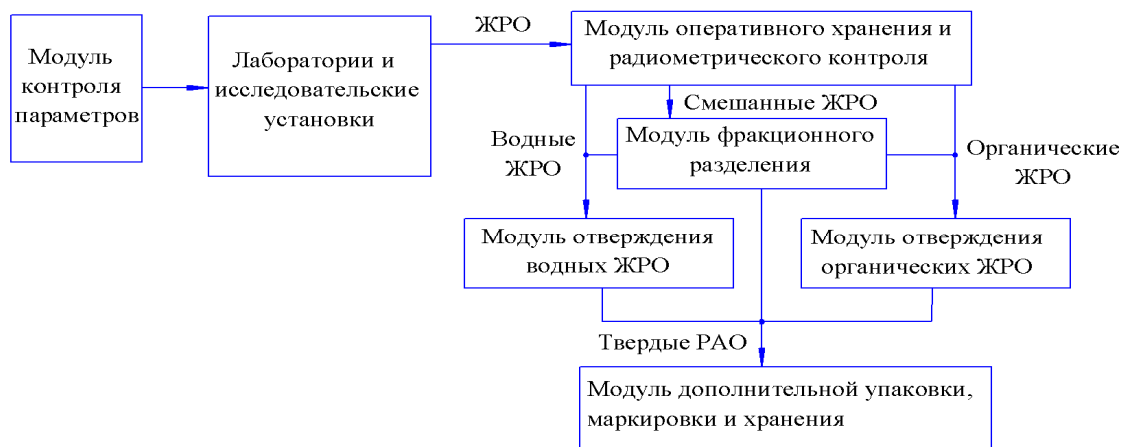
На основе имеющихся технологий был разработан проект комплекса модульного типа по обезвреживанию технологических жидкостей, загрязненных РАО, для оснащения им имеющегося лабораторного комплекса на стадии ввода в эксплуатацию. Ввод в эксплуатацию в составе комплексной лаборатории позволит:

- проводить весь цикл кондиционирования ЖРО на месте образования, что решит проблему накопления и хранения;
- понизить класс опасности РАО;
- перевести РАО в стабильную твердую форму, обеспечивающую приемлемые условия для дальнейшего безопасного хранения;
- исключить риски необоснованного переоблучения персонала и нарушения экологического благополучия населения в результате распространения радионуклидов в окружающую среду при возможных чрезвычайных ситуациях в процессе эксплуатации объекта;
- отказаться от дорогостоящих мероприятий по строительству и эксплуатации специальных очистных сооружений для технологических стоков;
- устранить необходимость транспортировки ЖРО к месту переработки;
- исключить необходимость использования дорогостоящих безмаслянных вакуумных насосов импортного производства, имеющих низкий ресурс и ограниченную ремонтпригодность.

Основная концепция проекта заключается в обеспечении экологической безопасности за счет того, что технологические жидкости, загрязненные РАО, переводятся в безопасное состояние непосредственно на месте их образования.

### *Структура комплекса*

В спроектированном комплексе ранее отработанные технологии сгруппированы по модулям, целью каждого из которых является выполнение определенного набора операций для достижения промежуточного результата в общей технологической цепочке. Такой подход к организации деятельности позволяет провести зонирование работ по степени радиационной опасности, проводить параллельную переработку различных видов отходов, а также ускорить время принятия решения для оперативного выстраивания логистики процесса. В конечном итоге эти меры позволят сократить время обращения персонала с источниками ионизирующего излучения и снизить риски возникновения негативных последствий. Общая структура комплекса представлена на рисунке.



Модульная схема комплекса

**Модуль контроля параметров.** Для наиболее распространенных технологических жидкостей способы кондиционирования отработаны. В то же время номенклатура и допустимый диапазон характеристик выпускаемых технологических жидкостей: масел, органических растворителей, сцинтилляционных жидкостей и т. п. – достаточно широки. Так же в результате появления новых знаний и научно-технического развития вероятно появление новых способов и материалов для переработки ЖРО. В связи с этим все технологические жидкости, применение которых предполагается в лабораторной деятельности, должны подвергаться предварительным испытаниям. С этой целью модуль оснащается лабораторным оборудованием общего назначения, на котором определяются способы обращения с каждой конкретной жидкостью при ее загрязнении радиоактивными веществами, выбирается наиболее подходящий материал отвердителя, определяются степень наполняемости конечного компаунда и методы контроля. Полученные параметры регистрируются и в дальнейшем используются при обезвреживании образующихся ЖРО известного состава.

**Модуль оперативного хранения и радиометрического контроля.** Данный модуль оснащается жидкостным сцинтилляционным счетчиком и необходимым оборудованием для безопасного отбора и подготовки проб с целью дальнейшего измерения удельной активности. Технологические жидкости, в отношении которых имеется предположение об их загрязнении радионуклидами, помещаются в специально оборудованное место временного хранения РАО. Далее производят отбор проб и измерение удельной активности. При подтверждении наличия радиоактивных веществ в отобранных пробах, по результатам полученных данных принимается решение о порядке проведения дальнейших операций.

**Модуль фракционного разделения.** Цель – выделение твердой фракции. В состав модуля входит оборудование для распределения перерабатываемых жидкостей на партии, загрузки в герметичные контейнеры, центрифугирования, а также дальнейшего фильтрования, нагрева или охлаждения и т. д., с целью разделения жидкостей и выделения твердой фракции. Исходя из того что в процессе переработки радиотоксичность технологических жидкостей может усиливаться (например, при попадании трития в воду), используемое оборудование обеспечивает возможность проведения работ в инертной среде, без контакта с окружающей атмосферой. При необходимости получаемые жидкости проходят повторный контроль удельной активности и направляются на отверждение.

**Модуль отверждения водных ЖРО.** Вода и водные растворы, загрязненные радионуклидами, могут образоваться в результате проведения научно-исследовательских работ, дезактивации оборудования и периодической профилактической уборки помещений. В том случае когда содержание радионуклида превышает контрольный уровень загрязнения, проводят отверждение с получением твердых матричных материалов на основе кристаллогидратов.

**Модуль отверждения органических ЖРО.** Отходы органических технологических жидкостей, таких как нефтяные масла, сцинтилляционные жидкости, растворители и т. п., отверждают путем сплавления со смесью предельных углеводов. При этом отвердитель готовится заранее из расчета предполагаемого объема образования ЖРО и поэтапно используется в соответствии с пределами наполняемости конечного компаунда, которые были определены для каждого конкретного материала при входном контроле параметров.

**Модуль дополнительной упаковки, маркировки и хранения.** В пределах данного модуля кондиционированные отходы, переведенные в твердое состояние и удовлетворяющие критериям приемлемости, упаковываются при необходимости в транспортировочные контейнеры, маркируются и хранятся до передачи в специализированные организации по обращению с РАО.

## **Выводы**

Основная направленность разработанного модульного комплекса – национальная энергетическая безопасность, так как работы направлены на разработку безопасного решения проблемы обращения с ЖРО, образующихся при отработке и внедрении технологий замкнутого топливного цикла управляемого термоядерного синтеза, а также при проведении всего спектра лабораторных работ с тритием и его соединениями. Параллельно при вводе данного комплекса в эксплуатацию будут решаться проблемы накопления, длительного хранения и транспортировки ЖРО к месту переработки, что устраняет риски распространения радионуклидов в окружающую среду.

Концепция комплекса основывается на передовом мировом опыте в области обращения с институциональными РАО. Основой концепции является положение, что наиболее оптимальна такая организация деятельности, при которой исследователь перед началом проведения каждого конкретного эксперимента определяет, к какому типу будут относиться РАО, полученные в результате эксперимента, и планирует методологию их утилизации в соответствии с имеющимися в его распоряжении технологиями. Такая практика полностью соответствует международным тенденциям в области обращения с РАО о предварительном планировании и непрерывном контроле за всем жизненным циклом источников ионизирующего излучения от образования до окончательной изоляции.

Новизна и практичность технологий, применимых при проработке концепции и устройства комплекса, выборе необходимого оборудования и расходных материалов, подтверждены имеющимися патентами и научно-техническими работами по их отработке, которые были проведены в РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Использование модульного комплекса позволяет избежать крупных капитальных вложений на строительство и содержание специальных накопительных и очистных сооружений, предотвратить попадание радионуклидов в окружающую среду. Разделение и локализация ЖРО на месте их образования предотвратят возможность возникновения техногенных аварий при транспортировке РАО к месту переработки и экономические издержки на ликвидацию их последствий.

### Список литературы

1. Пат. № RU2637811. G21F9/16. Способ переработки жидких радиоактивных отходов/ Н. Т. Казаковский, В. А. Королев // Бюллетень. 2017. № 34.
2. Пат. № RU 2589040. G21F9/16. Способ отверждения тритийсодержащего нефтяного масла/Н. Т. Казаковский, И. Н. Иосилевич, В. А. Королев // Там же. 2016. № 19.
3. Пат. № RU 2654542. G21F9/16. Способ отверждения органических жидких радиоактивных отходов/Н. Т. Казаковский, В. А. Королев // Там же. 2018. № 15.
4. Пат. № RU2627690. G21F9/16. Способ кондиционирования воды, содержащей тритий/ Н. Т. Казаковский, С. Е. Леваков, В. А. Королев, В. Н. Голубева, А. В. Стеньгач // Там же. 2017. № 22.
5. Пат. № RU2623999. G21F9/16. Способ кондиционирования воды или водного раствора, содержащих тритий/Н. Т. Казаковский, В. А. Королев // Там же. № 19.

## **Modular Complex for Neutralization of Process Fluids Contaminated with Radioactive Substances**

**N. T. Kazakovsky, V. A. Korolev**

*RFNC-VNIIEF occupies a leading position in the field of creation and development of nuclear technologies both civil and military ones. The accumulated scientific and technical potential makes it possible to solve unique problems of radioactive materials management at all stages of the life cycle. The developed technologies ensuring the safe treatment of radioactive wastes formed the basis of a modular complex for the neutralization of process fluids contaminated with radioactive substances.*