

УДК 621.039.73

Разработка концепции модульного комплекса по кондиционированию тритиевых жидких радиоактивных отходов на месте их образования

**Н. Н. Барышева, Л. А. Гришина, Н. Т. Казаковский,
В. А. Королев, А. А. Юхимчук**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Нижегородская обл., Россия
arkad@triton.vniief.ru

Настоящая статья посвящена комплексному подходу к обращению с жидкими радиоактивными отходами, содержащими тритий. Предлагается концепция комплекса по переводу отходов в безопасное состояние на местах их образования. Комплекс может найти применение в первую очередь в исследовательских лабораториях, где возможно образование радиоактивных отходов различного химического состава в небольших количествах. Модульный принцип комплекса позволит эффективно использовать существующие технологии утилизации, многие из которых разработаны авторами. В статье приводятся данные мировой патентной активности по этому направлению, бурный рост которой за последнее время подчеркивает актуальность обозначенной проблемы.

Активная наработка трития, а также его использование в научно-исследовательских и производственных целях во всем мире были начаты в 50-х годах прошлого века в связи с развитием программ разработки термоядерного оружия. Но в середине 60-х годов, после того как содержание трития в атмосфере за счет «военной» составляющей увеличилось в 35 раз [1], в связи с окончанием наземных испытаний термоядерных устройств, основной вклад в накопление и распространение трития в атмосфере вносят выбросы предприятий ядерной энергетики.

Несмотря на то, что тритий может содержаться в структуре твердых, жидких и газообразных радиоактивных отходов, наиболее опасными являются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО). Газообразный тритий в 10 000 раз ме-

нее токсичен, чем тритий в виде воды (НТО) [2, 3]. Также сильным негативным воздействием на организм обладает органически связанный тритий, который наиболее интенсивно образуется в жидкостях.

Помимо технологических потерь и запланированных контролируемых выбросов попадание трития в окружающую среду возможно и при возникновении техногенных аварий.

Только за последнее время произошел ряд радиационных аварий различной степени тяжести, которые сопровождались выбросом тритиевых ЖРО, которые повлекли за собой локальные загрязнения окружающей среды. Радиационная авария на АЭС Фукусима-1 привела к утечке большого количества радиоактивных отходов, в числе которых сотни тонн воды, содержащей тритий. Другая авария, связанная с утечкой трития произошла в 2014 году на выведенной из эксплуатации АЭС в городе Саласпилс, Латвия, где произошла утечка воды, содержащей тритий, из стальной бочки в результате разгерметизации сварного шва [4]. Предположительно 350-750 л радиоактивной воды попало в окружающую среду в результате утечки на АЭС Browns Ferry, Алабама, США. 13 января 2015 в прибрежных водах было зафиксировано содержание трития, превышающее международные нормы [5]. Данные факты говорят о том, что даже несмотря на предпринимаемые в последнее время совместные усилия стран, эксплуатирующих ядерные объекты, а также непрерывный контроль со стороны МАГАТЭ, технологические процессы по сбору, накоплению, хранению и транспортировке ЖРО остаются очень опасными.

При проведении лабораторных исследований материалов, содержащих тритий и его соединения, образуются тритиевые ЖРО (водные растворы, минеральные масла, органические растворители, сцинтилляционные жидкости и т. д.), имеющие высокую степень токсичности. Российские нормы по обращению с радиоактивными отходами (РАО), приведенные к стандартам МАГАТЭ, накладывают ограничения на порядок транспортировки и переработки тритиевых РАО даже в условиях специализированных производств. Обязанность по доведению РАО до критериев приемлемости пунктов окончательной изоляции отходов, возлагается на организации, в результате деятельности которых они образовались.

Известно множество технологий по переработке тритиевых ЖРО. Например, авторы [6] предлагают подходы, цель применения которых – перевод отходов в содержащую тритий воду с последующей ее переработкой на установках разделения. Также известны работы по применению способов очистки органических ЖРО от содержащегося в них трития [7, 8]. Однако, данные способы не нашли широкого применения ввиду технической сложности их реализации или недостаточной проработанности технологий, а также из-за законодательных ограничений. С точки зрения мирового опыта обращения с РАО [9] и в соответствии с требованиями действующего российского законодательства [10, 11], образующиеся ЖРО необходимо перевести в твердое состояние. С целью недопущения распространения радионуклидов в процессе хранения и транспортировки ЖРО к месту переработки, желательно перевести образующиеся ЖРО в твердое безопасное состояние на месте их образования.

Во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в последнее время были разработаны и успешно внедрены в лабораторную практику ряд технологий и материалов, позволяющих проводить фракционное разделение и отверждение отходов технологических жидкостей, загрязненных тритием, образующихся в результате научно-исследовательской деятельности. Для решения проблемы утилизации двухфазных ЖРО проводится фракционное разделение отходов с выделением высокоактивной твердой дисперсной фазы для отдельной переработки [12]. Отверждение нефтяных масел, а также сцинтилляционных жидкостей и органических растворителей проводят с использованием отвердителя на основе композиции из твердых и микрокристаллических предельных углеводородов [13, 14]. Образующиеся водные и водно-солевые растворы, содержащие тритий, заключают в устойчивые кристаллогидраты при минимальном контакте с окружающей средой [15, 16]. Данные практические наработки легли в основу разработки концепции модульного комплекса по кондиционированию тритиевых ЖРО на месте их образования.

При создании концепции комплекса решалась задача проработки взаимосвязей между различными технологическими циклами кондиционирования тритийсодержащих ЖРО на базе имеющейся лаборатории. Ввод модульного комплекса в эксплуатацию позволит:

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

Основная концепция комплекса заключается в обеспечении экологической безопасности за счет того, что технологические жидкости, загрязненные радиоактивными веществами, переводятся в безопасное состояние непосредственно на месте их образования после принятия решения о нецелесообразности дальнейшего их использования.

Актуальность контроля за обращением источников ионизирующего излучения в ходе всего жизненного цикла, вплоть до момента перевода их в разряд РАО, подтверждается мировым опытом в области эксплуатации радиационно-опасных объектов [17, 18]. Комплексный подход, основанный на прогнозировании категории и объемов образующихся РАО при плановой эксплуатации объектов, а также методологии переработки, позволяет с минимальными издержками проводить внедрение новых перспективных технологий и материалов для поддержания общего уровня безопасности на максимально высоком уровне.

В предлагаемой концепции комплекса, 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 рис. 1.

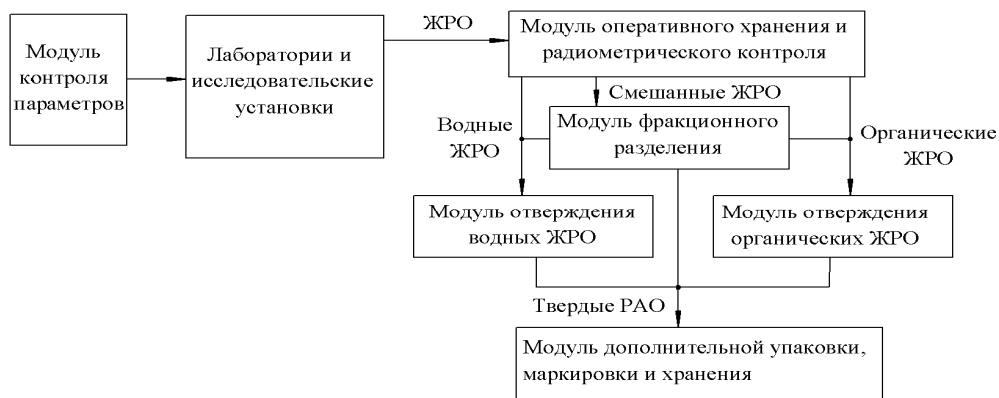


Рис. 1. Модульная схема комплекса

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 широк. Также, 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 тритием, выбирается наиболее подходящий материал отвердителя, определяется степень наполняемости конечного компаунда и методы контроля. Полученные параметры регистрируются и в дальнейшем используются при кондиционировании 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 радиоактивной 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 должно обеспечивать 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 уборке 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 углеводородов. При этом отвердитель готовится заранее из расчета предполагаемого объема образующихся 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 в транспортировочные контейнеры, маркируются и хранятся до передачи в специализированные организации по обращению с РАО.

Концепция комплекса основывается на том, что оптимальным является 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.

На базе лаборатории, работающей с тритиевыми материалами, был проведен «пилотный» проект по внедрению технологии переработки радиоактивного вакуумного масла. В соответствии с разработанной концепцией прово-

димые работы были сгруппированы по степени радиационной опасности. В начале технологического цикла кондиционирования ЖРО на нерадиоактивных материалах было подобрано оптимальное соотношение отвердителя и конкретного отработанного вакуумного масла для получения компаунда требуемого качества. Это позволило использовать исходные компоненты при отверждении в количестве, необходимом для образования минимального объема твердых РАО. Предварительная отработка технологических режимов на макетных материалах позволила минимизировать время обращения персонала с тритийсодержащими РАО. Радиоактивное вакуумное масло отверждалось небольшими партиями непосредственно после слива его из вакуумных насосов, что позволило исключить стадию хранения ЖРО.

В 2017 году руководством Блока по управлению инновациями Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», был предложен новый подход к обоснованию целесообразности и формированию целостности конечного рыночного продукта – это проведение конкурсов аванпроектов. В рамках мероприятий по аванпроекту были проведены работы по сбору и обобщению научно-технической информации. В частности, был проведен анализ современных тенденций развития соответствующей области науки и техники, обзор конкурентных технологий, определены ключевые конкурентные преимущества предлагаемых технологических решений и круг потенциальных потребителей.

При анализе отечественного и зарубежного опыта в исследуемой области были выявлены технологии и установки для переработки и кондиционирования ЖРО. Однако, поскольку известные решения направлены на переработку однотипных отходов, а также из-за технологической сложности, больших габаритных размеров оборудования и невозможности переработки средне- и высокоактивных тритиевых ЖРО, они не могут быть использованы для кондиционирования ЖРО на месте их образования. За многие десятилетия работы с РАО так и не создана простая, надежная и дешевая технология перевода основной массы ЖРО в безопасную форму, пригодную для захоронения.

Параллельно с аналитическими исследованиями были проведены патентные исследования. Автоматизированный патентный поиск проводился среди патентов по ключевым словам и по классам МПК в удаленной базе данных ФИПС «Патенты России» (1994–2016) (fips.ru), в базе данных Европейского патентного ведомства (ep.espacenet.com).

При проведении автоматизированного информационного поиска рассматривались удаленные ресурсы сети INTERNET: электронные журналы издательства «Elsevier» (www.sciencedirect.com), Американского института физики (scitation.aip.org), электронный банк данных Всероссийского института научно-технической информации (ВИНИТИ) (www.viniti.ru), научная электронная библиотека РФФИ ELIBRARY и др. информационные ресурсы.

В автоматизированном информационном поиске использовались следующие ключевые слова: тритиевые отходы, тритиевые ЖРО, кондиционирование трития, кондиционирование ЖРО, отверждение трития, отверждение ЖРО, обезвреживание ЖРО, обезвреживание трития, стабилизация ЖРО, стабилизация трития, обработка ЖРО, обработка трития, контроль трития, тритий, фракционное разделение трития, фракционное разделение ЖРО, фракционное разделение РАО, материалы для отверждения ЖРО, отверждение водных

ЖРО, отверждение органических ЖРО, разделение смешанных ЖРО, органические ЖРО, неорганические ЖРО, комплекс, установка, иммобилизация ЖРО, иммобилизация трития, tritium oil, tritium water, treatment liquid tritium waste, solidification liquid tritium waste, conditioning liquid tritium waste, liquid tritium waste, immobilization liquid tritium waste, aqueous tritium waste.

Патентно-информационный поиск показал, что в настоящее время переработка ЖРО реализована на больших промышленных комплексах, предназначенных для крупных партий однотипных ЖРО. Аналогов предлагаемому решению по созданию комплекса кондиционирования не однотипных тритиевых ЖРО на месте их образования не найдено. Для выявления тенденций развития исследований в рассматриваемой области, были проанализированы отобранные при патентно-информационном поиске описания патентов и информационные источники.

При анализе отобранных патентов, касающихся модульного комплекса, установлено, что заявленные в патентах установки работают на различных принципах с использованием различных методов переработки водных и органических ЖРО. Так, установки, в разных сочетаниях, содержат модули концентрирования и испарения, химического изотопного обмена, каталитические модули, озонирования, модули отверждения (цементирования, пластифицирующие добавки, селективные сорбенты, связующие и т. п.). В основном, указанные комплексы и установки предназначены для переработки больших партий однотипных ЖРО. В связи с этим установки занимают большие площади и оснащаются сложным технологическим оборудованием, громоздки, энергоемки, технически и экономически не перспективны для работы с небольшими партиями ЖРО. В связи с этим, в мировой практике научные лаборатории, в которых ЖРО образуются нерегулярно и в относительно небольших количествах, вынуждены собирать, хранить и транспортировать их в специализированные организации для кондиционирования (отверждения), что представляет опасность распространения трития в окружающую среду. Таким образом, для создания концепции модульного комплекса по кондиционированию тритиевых ЖРО на месте их образования использован практический опыт ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в области обращения с радиоактивными отходами с использованием результатов интеллектуальной деятельности, защищенных патентами РФ.

Результаты собранных данных о патентовании в области переработки и кондиционирования ЖРО в мировой практике, представлены на рис. 2, 3.

Как видно из приведенных данных наиболее активно патентование в исследуемой области представлено в Российской Федерации, Китае, США, Японии. В Российской Федерации, наиболее активно патентующие организации, это предприятия Госкорпорации «Росатом»: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и ФГУП «Научно-производственное объединение «Радиевый институт имени В. Г. Хлопина». Анализ динамики патентования в области переработки ЖРО показал, что наибольшее количество патентов получено в Российской Федерации. Следует отметить, что из 65 патентов РФ только 12 не поддерживаются заявителями (среди них есть физические лица). Этот факт говорит о том, что в настоящее время в России активно ведутся работы по безопасному решению проблемы обращения с ЖРО.



Рис. 2. Результаты проведенного патентно-информационного поиска по странам

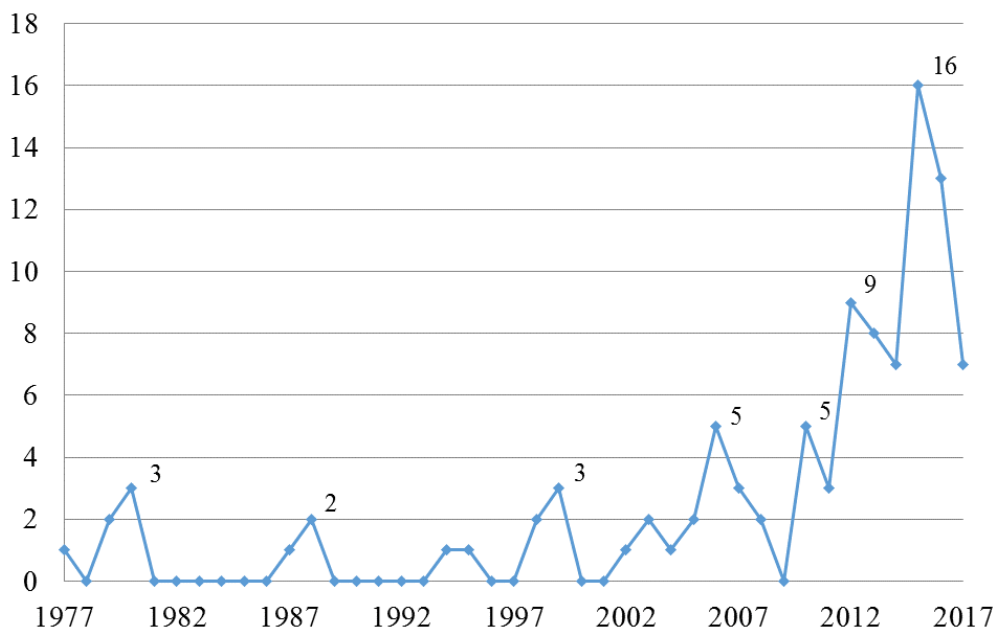


Рис. 3. Динамика патентования по годам

Результаты анализа патентования по годам в мире представлены на рис. 4.

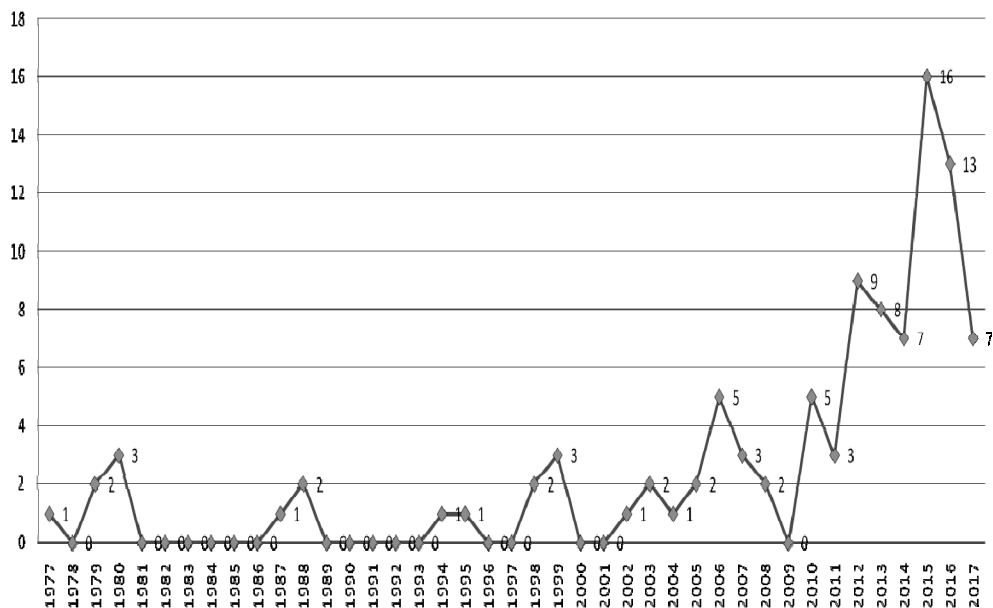


Рис. 4. Динамика патентования по годам в мире

Динамика патентования по годам показывает невысокую изобретательскую активность 1977–1980 годы (5 заявок за 4 года.) и, практически, отсутствие патентования в данной области с 1981–1986 годы. За 2 года (1987–1988) подано 3 заявки, а затем снова отсутствие патентования в период 1989–1993 годы. И только, начиная с 1998 года, активность патентования постепенно возрастает и достигает своего максимума к 2015 году (16 заявок за этот год). В 2016 году – 13 заявок, в 2017 году – 7 заявок.

Результаты проведенного патентно-информационного поиска показывают возрастающую заинтересованность организаций, работающих с тритием, в решении проблемы кондиционирования ЖРО. При этом предлагаемые способы и технологии направлены на решение специализированных проблем, актуальных для каждой конкретной организации. Объединение передовых технологий и унифицирование подходов к решению проблемы кондиционирования тритийсодержащих ЖРО, в составе модульного комплекса, позволит определить оптимальные технологические подходы и сформировать необходимую правовую базу для решения имеющейся проблемы.

Выводы

Тритий является радионуклидом с высокой миграционной способностью, в связи с чем возникают проблемы с обеспечением безопасности при хранении содержащих его ЖРО. Перевод ЖРО в твердое состояние непосред-

ственно на месте их образования значительно сокращает радиационные риски при хранении и транспортировке РАО. Как показали результаты проведенного патентно-информационного поиска, актуальность проблемы кондиционирования ЖРО, содержащих тритий, в последние годы растет, как в Российской Федерации, так и в мире. При этом основной упор делается на аккумуляцию отходов и переработку их на крупных предприятиях. Такой подход оправдан при проведении масштабных циклических процессов, когда возможно прогнозировать объемы, сроки и активность образующихся отходов. Если рассматривать образование отходов при обращении с тритием в исследовательских целях, то хранение и транспортировка не кондиционированных тритийсодержащих ЖРО превращается в серьезную проблему. Отсутствие лицензий у специализированных организаций на транспортировку высоко активных тритийсодержащих ЖРО делает их перевозку к месту переработки невозможной.

Разработка универсального комплекса по кондиционированию тритийсодержащих ЖРО непосредственно в организации, в которой они образуются, без использования дорогостоящего специализированного оборудования и сложных технологий, является актуальной задачей. При этом следует отметить, что в ходе развития научно-технического прогресса и получения новых знаний в области обращения с РАО, появляются новые материалы и технологии их применения. Поэтому модульная конструкция комплекса по кондиционированию тритийсодержащих ЖРО, позволит не только определять его конфигурацию исходя из потребностей заказчика, но и оперативно внедрять новые технологии в рамках отдельных модулей, без технического переоснащения всего комплекса.

На момент выхода производительности комплекса на проектный уровень, планируется переработка до 200 литров тритиевых ЖРО различного типа в год, за счет параллельного выполнения работ на нескольких технологических модулях. При этом окончательные параметры будут определяться количественными показателями разрешенного содержания радионуклида в рабочих помещениях, номенклатурой образующихся ЖРО, разрешенными объемами выбросов и другими регламентирующими факторами с учетом действующего законодательства. С учетом изменений потребностей, производительность комплекса может быть многократно увеличена.

Авторы выражают благодарность П. Г. Бережко и В. Г. Клевцову за полезные замечания.

Список литературы

1. Кесслер Г. Ядерная энергетика: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 264 с.
2. Беловодский Л. Ф., Хапов А. С., Киселев В. Г., Панюшкин М. С. Радиационные и радиозоологические последствия выбросов трития в атмосферу // Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. INISM'15 JUNIOR: сб. докл. Десятой международной школы молодых ученых

- и специалистов / Под ред. А. А. Юхимчука. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2016, с. 208–222.
3. Демин С. Н., Телушкина Е. Л. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия // Бюллетень радиационной медицины. 1987, № 1, с. 23–28.
4. Назимов И. СССР оставил Латвии смертельно опасное напоминание о себе [Электронный ресурс] // Discred.ru: информационный портал. 2018. 19 июня. URL: <https://www.discred.ru/2018/06/19/sss-r-ostavil-latvii-smertelno-opasnoe-napominanie-o-sebe/> (дата обращения 14.02.2019).
5. Утечка радиоактивной воды произошла на АЭС в Алабаме [Электронный ресурс] // Атомная энергия 2.0: информационно-справочный портал. 2015. 16 января. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2015/01/16/54233> (дата обращения 14.02.2019).
6. Braet J., Bruggeman A. Oxidation of tritiated organic liquid waste // Preprint of Paper to be submitted for publication in Proceedings of the 7th Tritium Science and Technology Conference. Baden Baden. Germany 12–17 September 2004.
7. Магомедбеков Э. П., Шаплыгин В. А., Баранова О. А., Исаева М. Ю., Жарков А. В. Очистка вакуумного масла от трития методом изотопного обмена // Атомная энергия. 2005, т. 98, вып. 2, с. 129–133.
8. Сазонов А. Б., Магомедбеков Э. П., Веретенникова Г. В., Самойлова С. А., Жарков А. В. Способ извлечения трития из отходов тритийсодержащих вакуумных масел. Атомная энергия. 2005, т. 98, вып. 2, с. 134–143.
9. Management of waste containing tritium and carbon-14. International Atomic Energy Agency // Technical reports series. № 421. Vienna. 2004.
10. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности». НП-019-15. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25.06.2015 г. № 242.
11. 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 от 15.12.2014 г. № 572.
12. Способ переработки жидких радиоактивных отходов: пат. 2637811 Рос. Федерация: МПК G21F9/16 / Казаковский Н. Т., Королев В. А.; заявитель и патентообладатель Госкорпорация «Росатом»; опубл. 07.12.2017, Бюл. № 34.
13. Способ отверждения тритийсодержащего нефтяного масла: пат. 2589040 Рос. Федерация: МПК G21F9/16 / Казаковский Н. Т., Иосилевич И. Н., Королев В. А.; заявитель и патентообладатель Госкорпорация «Росатом»; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

14. Способ отверждения органических жидких радиоактивных отходов: пат. 2654542 Рос. Федерация: МПК G21F9/16 / Казаковский Н. Т., Королев В. А.; заявитель и патентообладатель Госкорпорация «Росатом»; опубл. 21.05.2018, Бюл. № 15.
15. Способ кондиционирования воды, содержащей тритий: пат. 2627690 Рос. Федерация: МПК G21F9/16 / Голубева В. Н., Казаковский Н. Т., Королев В. А., Леваков С. Е., Стеньгач А. В.; заявитель и патентообладатель Госкорпорация «Росатом»; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 22.
16. Способ кондиционирования воды или водного раствора, содержащих тритий: пат. 2623999 Рос. Федерация: МПК G21F9/16 / Казаковский Н. Т., Королев В. А.; заявитель и патентообладатель Госкорпорация «Росатом»; опубл. 30.06.2017, Бюл. № 19.
17. Основополагающие принципы безопасности № SF-1. Международное агентство по атомной энергии // Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Вена. 2007.
18. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов № SSR-6. Международное агентство по атомной энергии // Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Вена. 2012.

Concept of a modular complex for conditioning tritium liquid radioactive waste at the site of their formation

**N. N. Barysheva, L. A. Grishina, N. T. Kazakovsky, V. A. Korolev,
A. A. Yukhimchuk**

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute
of Experimental Physic (RFNC-VNIIEF),
Sarov, Nizhny Novgorod region, Russia
arkad@triton.vniief.ru

This article presents a comprehensive approach to the management of liquid radioactive waste containing tritium. The concept of a complex for transferring waste to a safe state at the sites of its formation is proposed. The complex is intended to use primarily in research laboratories, where small quantities of radioactive waste with various chemical composition are formed. The modular principle of the complex will make it possible to effectively use the existing recycling technologies, many of which were developed by the authors. The article provides data on global patent activity in this area, which rapid growth during the past years emphasizes the relevance of the problem.