DOI: 10.25283/2587-9707-2025-4-6-17 УДК 621.039.7

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФГУП «РАДОН» ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Е. П. Макаров, И. И. Кадыров, Е. Е. Осташкина, С. М. Лащенов

Научно-производственный комплекс — Сергиево-Посадский филиал ФГУП «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды», Сергиев Посад, Московская область

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2025 г.

Статья содержит обзорный материал о деятельности ФГУП «РАДОН» по решению актуальных проблем обращения с низко- и среднеактивными радиоактивными отходами (РАО) в различном агрегатном состоянии, а также с отработавшими источниками ионизирующего излучения (ОИИИ).
Для кондиционирования РАО во ФГУП «РАДОН» применяются технологии и установки сортировки, прессования, термической обработки, дезактивации металла, используются передовые средства измерений и аналитического контроля, имеется парк специализированного автотранспорта.
Предприятие эксплуатирует современные сооружения для хранения РАО, накапливает опыт восстановления, поддержания эксплуатационных качеств и вывода из эксплуатации «исторических» хранилищ, не вполне отвечающих современным требованиям.
Все процессы обращения с РАО строго документированы, производится оценка радиационного воздействия на население и внешнюю среду, нарушения нормального технологического режима предотвращаются либо смягчаются их последствия.
В сферу компетенции ФГУП «РАДОН» входят также радиационный мониторинг и обследование объектов, реабилитация загрязненных территорий.

Ключевые слова: *радиоактивные отходы, источники излучения, переработка, сжигание, прессование, кондиционирование, хранение, захоронение, радиационный контроль.*

Основные задачи ФГУП «РАДОН»

В 1960 году Постановлением Совета Министров СССР была образована Центральная станция по переработке и захоронению радиоактивных отходов. Ее первоначальное назначение — обращение с РАО, образующимися в исследовательских и промышленных организациях Москвы, Московской области и прилегающих 10 областей. Научно-производственный комплекс — Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН» (НПК-СПФ) — сегодняшнее наименование этого объекта.

Тем же постановлением были созданы пункты захоронения РАО (ПЗРО) для других регионов Советского Союза.

В течение многих лет предприятие работало в системе коммунального хозяйства и благоустройства Москвы, а в 2013 году, согласно указу Президента России, вошло в структуру Госкорпорации «Росатом» как Федеральное государственное унитарное предприятие «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и

охране окружающей среды» (ФГУП «РАДОН»), объединив обособленные подразделения (филиалы), расположенные в разных регионах России, от Мурманска до Владивостока [1].

ФГУП «РАДОН» принимает для кондиционирования и временного хранения РАО атомных станций, промышленных и сельхозпредприятий, научно-исследовательских и медицинских учреждений, воинских частей.

Вещественный состав твердых РАО представлен металлом, пластиком, древесиной, стеклом и керамикой. Типичные виды отходов: загрязненный грунт, бой строительных материалов, вентиляционные фильтры, отработанные ионообменные смолы. Жидкие РАО образуются в производственных системах канализации.

Отдельным видом лицензируемой деятельности ФГУП «РАДОН» является перевозка упаковок РАО, регламентируемая правилами внутриобъектовых и внешних перевозок. Безопасность перевозок обеспечена оснащением автомобилей знаками информирования о грузе, специальным инструментом и приспособлениями и подтверждена отсутствием аварий с радиационно значимыми последствиями за всё время работы предприятия.

В рамках новой функции ФГУП «РАДОН» по выводу из эксплуатации радиационных объектов, НПК-СПФ накапливает опыт безопасного извлечения и кондиционирования РАО из ранее заполненных хранилищ. Работы проведены на одном хранилище жидких РАО и трех хранилищах твердых и включают предварительное обследование объекта, разработку проекта производства работ, подготовку аналитических материалов и расчетов для внесения изменений в отчет по обоснованию безопасности (ООБ) объекта и в условия действия лицензии для корректировки перечня разрешенных видов работ.

Профессионализм специалистов ФГУП «РАДОН» находит применение и за пределами промплощадки, что позволяет участвовать в исследовательских программах, семинарах, рабочих встречах, проводимых предприятиями структуры ГК «Росатом» и Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), в разработке отечественной нормативной документации и стандартов МАГАТЭ.

Благодаря уникальным компетенциям предприятия были выполнены восстановительные работы на хранилище РАО в Армении после Спитакского землетрясения 1988 года, мониторинг территорий в районе Чернобыльской АЭС, очистка жидких РАО (ЖРО) на установке Аква-Экспресс в России, Бангладеш, Иране, Сирии, Сербии, Узбекистане, Азербайджане, Румынии, Республике Беларусь.

Подготовка радиоактивных отходов к захоронению

Целью переработки РАО, как основной функции предприятия, является сокращение их объема, стабилизация физико-химических свойств и приведение в пригодную для захоронения форму. Рыхлые, легковесные материалы прессуют, органические — сжигают, жидкие или сыпучие отходы направляют на отверждение.

Разделение РАО по способам переработки производится при их сборе в местах образования. Передача РАО на предприятие выполняется после двухстадийного входного контроля на площадке отправителя и на площадке ФГУП «РАДОН» с получением данных о характеристиках отходов путем взвешивания, радиометрических и гамма-спектрометрических измерений и проверки соответствия результатов измерений сопроводительной документации. Сортировка может производиться и на площадке предприятия, например, вентиляционные фильтры после разборки разделяются на горючие и прессуемые материалы.

Возможности предприятия по переработке РАО постоянно совершенствуются и представлены установками водоочистки, цементирования, битумирования, прессования, сжигания, эксплуатируемыми с 1960—70 гг., и более современными установками остекловывания ЖРО, плазменной переработки, участками сортировки и фрагментирования РАО, дезактивации металлических РАО (МРАО).

Сжигание отходов происходит на колосниковой решётке керамической печи при температуре 700—950 °С с контролем эффективности газоочистки путем отбора проб аэрозолей. РАО поступают на сжигание в 40-литровых пакетах. Зола после контроля на степень недожога выгружается в 100-литровые стальные бочки, которые размещаются в 200-литровых бочках и затем в долговечных контейнерах, предназначенных для захоронения РАО.

При плазменной переработке горючие и негорючие РАО загружаются в верхнюю часть шахтной печи (рис. 1) и при движении вниз последовательно проходят стадии нагрева за счет тепла отходящих газов, сушки и пиролиза в условиях недостатка кислорода и плавления. Уровень отходов в шахте печи поддерживают постоянным [2].

В плавителе, в нижней части шахты, происходит догорание углерода и органического остатка от пиролиза с использованием электродуговых плазмотронов и плавление неорганического остатка (шлака) при температуре 1200—1400 °С.

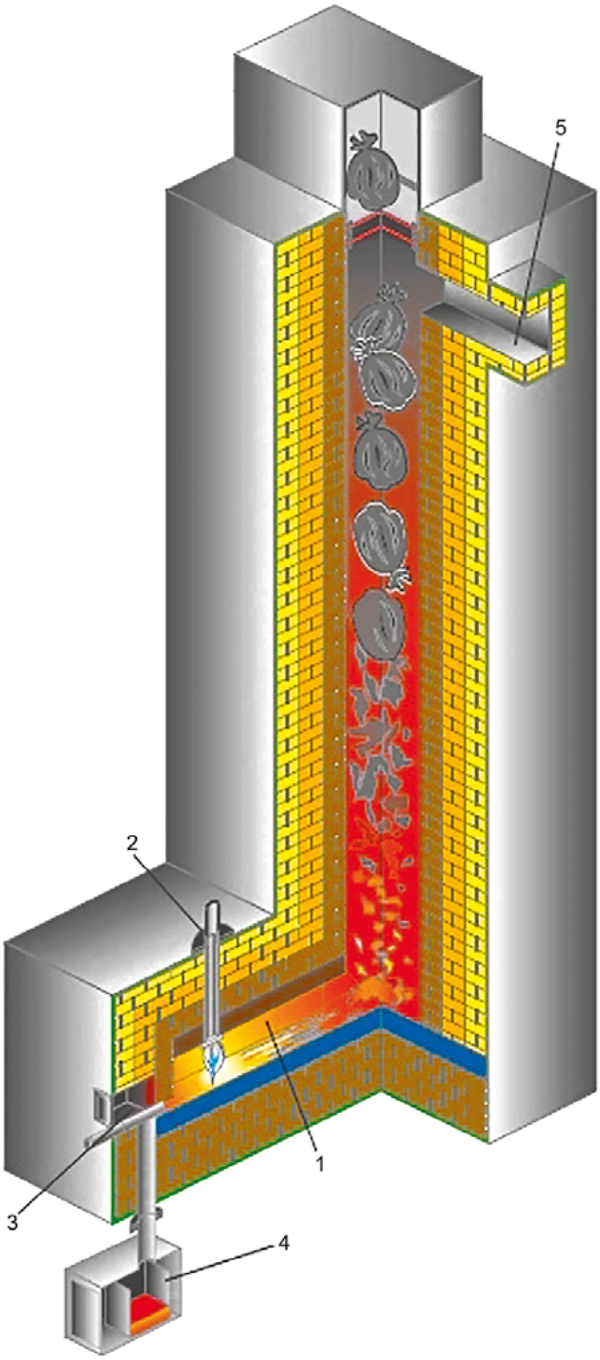

Рис. 1. Шахтная печь: 1 – плавитель; 2 – плазмотрон; 3 – узел слива шлака; 4 – контейнер для шлака; 5 – выход пиролизного газа

Полученный шлак после слива в металлические контейнеры и охлаждения становится монолитным материалом с высокой водоустойчивостью. Пирогаз, выходящий из печи, сжигается в двухсекционной камере с топливной горелкой и плазмотроном.

Системы газоочистки установок сжигания и плазменной переработки включают теплообменники для охлаждения газов и конденсации водяного пара, фильтры предварительной и тонкой очистки газов от аэрозолей, средства нейтрализации кислых газов.

При компактировании РАО, упакованные в 200-литровые бочки, последовательно сжимаются в трех направлениях с использованием гидравлического пресса с усилием 100 тонн на первой и второй ступенях прессования, 350 тонн — на третьей ступени. Образующиеся прямоугольные пресс-брикеты объемом 40—50 литров укладываются в металлический контейнер.

Процесс дезактивации МРАО начинается с их фрагментации в герметичной рабочей камере с использованием аппаратов воздушно-плазменной и электродуговой резки, аллигаторных ножниц. Механическая дезактивация происходит на дробеметных установках с турбиной посредством ударного воздействия на фрагменты РАО струи металлической дроби размером около 1 мм со скоростью 100 м/с. Крупные фрагменты металла перед дезактивацией подвешиваются на вращающиеся крюки, а мелкие обрабатываются в камере барабанного типа. Отработанная дробь очищается в сепараторе от радиоактивной пыли и используется многократно. Вытяжной воздух подвергается очистке и поступает в систему местной вентиляции. По результатам радиационного контроля очищенный металл разделяется на пригодный для сдачи в металлолом и на материал с более низким загрязнением по сравнению с исходными РАО.

В процессе технологической обработки образуются промежуточные формы РАО: зола, пресс-брикеты, отвержденный шлак, которые вместе с РАО, не пригодными для сжигания или прессования, направляются на кондиционирование. Процесс кондиционирования, завершающий каждую технологическую линию, означает размещение РАО в сертифицированных металлических контейнерах КМЗ и КРАД или железобетонных контейнерах НЗК с получением упаковок, отвечающих критериям приема на захоронение.

При кондиционировании для заполнения пустот в упаковках среднеактивных РАО цементным матричным материалом применяется установка, в состав которой входят бункер цемента, дозаторы цемента, затворителя и добавок, смеситель [3]. Затворителем цемента является вода или низкоактивные жидкие РАО. Посредством специальных добавок можно добиться повышения пластичности цементной смеси, замедления сроков ее схватывания, повышения водонепроницаемости и морозостойкости. Ввод матричного материала производится насосом с помощью шланга в верхнюю часть контейнера НЗК или в нижнюю часть контейнера КМЗ, что предусмотрено его конструкцией для эффективного заполнения пустот в упаковке. Соответствие получаемого цементного

Рис. 2. Установка кондиционирования ионообменных смол
К — контейнер для формирования упаковки компаунда

камня нормативным критериям подтверждается испытаниями на прочность, радиационную стойкость, устойчивость к термическим циклам (замораживание — оттаивание), скорость выщелачивания в воде.

Пустоты в упаковках низкоактивных РАО заполняются химически инертным сыпучим материалом, например бентонитом или песком.

Для кондиционирования ионообменных смол во ФГУП «РАДОН» разработан и применяется инновационный метод обезвоживания и иммобилизации в полимерную матрицу [4] на основе эпоксидных смол (рис. 2). Конструкция упаковок на основе модифицированных контейнеров КМЗ и НЗК позволяет предварительно удалять свободную жидкость из ионообменной смолы. Получаемый компаунд, как и цементный камень, соответствует нормативным требованиям по термической и радиационной стойкости, устойчивости к выщелачиванию.

По санитарным правилам РАО делятся на категории: очень низкоактивные, низкоактивные, среднеактивные, высокоактивные. Согласно лицензии предприятие имеет дело с первыми тремя категориями РАО, а также с отработавшими источниками ионизирующего излучения (ОИИИ).

Источники ионизирующего излучения широко используются в промышленности, исследованиях, медицине в составе термоэлектрических генераторов, устройств для каротажа скважин, приборов технологического контроля. ОИИИ поступают на предприятие в защитных контейнерах. Ранее принятые источники излучения размещались либо вместе с контейнерами в общем массиве хранилищ РАО, либо после выгрузки из контейнеров — в специальных мини-хранилищах (рис. 3) с заполнением пустотного пространства сплавом на основе свинца [3].

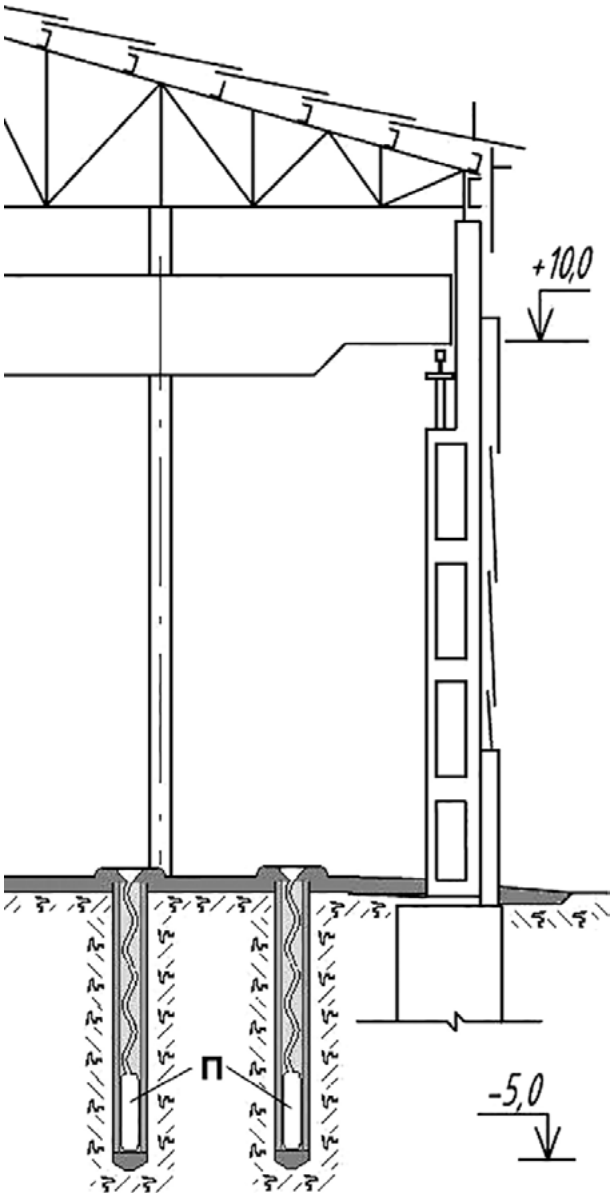

Рис. 3. Хранилище ОИИИ
П — пенал из нержавеющей стали вместимостью 0,2 м^3

В настоящее время, согласно статусу предприятия, вновь поступающие ОИИИ разделяются по видам радионуклидов и хранятся в транспортабельной форме в специальном контейнере КМЗ-РНИ с надежной радиационной защитой для мощных источников, либо в контейнерах КМЗ или НЗК без извлечения из собственных защитных контейнеров.

Нормативные требования допускают захоронение в приповерхностных сооружениях источников, содержащих короткоживущие радионуклиды — кобальт-60, цезий-137, иридий-192, активность которых через 300 лет снизится до уровня минимально значимой, и требуют глубинного захоронения для прочих источников. Отдельно размещаются источники бета-излучения, как не оказывающие повышенного радиационного воздействия на персонал, и источники альфа-излучения с высокой радиотоксичностью.

Занимая незначительный объем хранилищ, ОИИИ имеют на порядки большую общую активность по сравнению с прочими РАО.

ЖРО поступают на предприятие извне, а также образуются при эксплуатации собственных систем дренажа и спецканализации. С первых лет работы ФГУП «РАДОН» здесь действует система очистки сточных вод методами концентрирования (роторно-плёночный испаритель), механической фильтрации, ионного обмена и обратного осмоса, применяемыми в зависимости от характеристик ЖРО. Для фильтрации и сорбции используются дробленый керамзит, кварцевый песок, активированный уголь, нетканый материал Мегасорб, катионит, анионит, обратноосмотические мембранные элементы.

Первичные ЖРО от отправителей и концентраты из системы водоочистки отверждаются методом цементирования [3].

Порядок ведения технологических процессов устанавливают технологические регламенты, структура которых единообразна и включает критерии приема РАО и рабочих сырьевых материалов, детальное операционное описание процесса, указания в отношении возможных нарушений нормального технологического режима. Обращение с РАО по конкретным контрактам в части технологических требований, материальных и трудовых ресурсов регламентируют маршрутные карты.

Действующее в НПК-СПФ технологическое оборудование размещено в разных производственных зданиях, что требует перевозок между ними промежуточных форм РАО — золы, продуктов сортировки, пресс-брикетов. Установки и строительные конструкции имеют значительный срок эксплуатации.

Концепция обращения с РАО Госкорпорации Росатом на период до 2050 года предусматривает создание региональных комплексов по их переработке (КП РАО). В настоящее время на площадке НПК-СПФ ведется строительство КП РАО, отвечающего современным нормам по кондиционированию отходов для их передачи на захоронение. Проведены государственная экспертиза проекта, общественные слушания. Получена лицензия на сооружение [5].

Здание КП РАО имеет площадь 50×40 метров, общая производительность комплекса составляет 3000 м^3/год, в том числе 300 м^3/год — по среднеактивным РАО. Технологический процесс включает сортировку и фрагментацию первичных форм РАО, сжигание, прессование и иммобилизацию в матричный материал с получением упаковок кондиционированных форм. Фрагментация РАО перед сжиганием производится шредером с последующей фасовкой в пакеты на автоматической упаковочной установке. По проекту 50% низкоактивных РАО направляется на сжигание, что позволит достичь почти двухкратного снижения общего объема отходов при переработке.

Захоронение радиоактивных отходов

Переработка и кондиционирование РАО снижают потенциал рассеяния радиоактивных загрязнений в геологической и биологической среде пункта захоронения РАО (ПЗРО). Критерии приема РАО на захоронение регламентируются федеральными нормами и правилами, а также критериями приема в конкретный ПЗРО.

Условием передачи РАО на захоронение является документированное соответствие характеристик РАО приемным критериям. Основные сведения о РАО содержатся в сопроводительных документах отправителя — актах передачи, паспортах упаковок. Но при передаче отходов после длительного хранения документальные сведения могут быть неполными. В этом случае для определения свойств РАО проводят неразрушающий контроль без вскрытия упаковок путем гамма-спектрометрических измерений или контроль путем отбора и анализа проб. Особую задачу представляет контроль содержания сложно детектируемых радионуклидов, альфа- и бета-излучателей. Радиохимические и физико-химические анализы проб различных сред выполняются в аккредитованной лаборатории по методикам измерений, аттестованным метрологической службой.

На каждую партию РАО оформляется карта контроля технологического процесса на соответствие критериям их приема на захоронение, содержащая характеристики РАО со ссылками на методики и результаты испытаний.

Собираемые РАО зачастую длительно хранятся на объекте их образования перед транспортированием в специализированную организацию для переработки и кондиционирования. Затем РАО перевозят в ПЗРО для надежного и безопасного размещения на захоронение. Сокращение времени от момента образования РАО до их долгосрочной изоляции повышает эффективность системы обращения с ними.

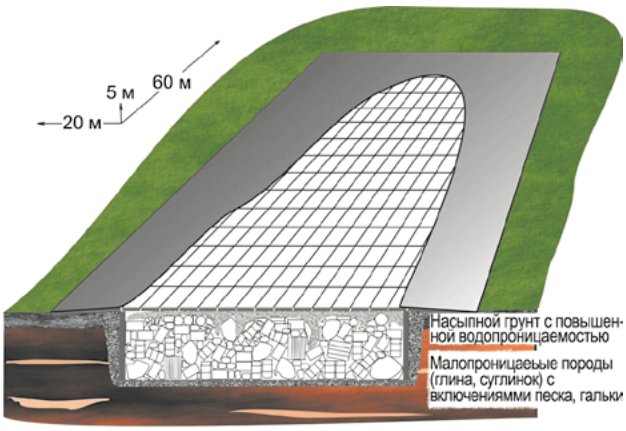

Рис. 4. Типичное заглубленное хранилище, состоит из 13 отсеков вместимостью 350 м^3

Пункт хранения радиоактивных отходов

Предприятие (НПК-СПФ) было создано с целью захоронения РАО, то есть размещения РАО без намерения последующего извлечения. В 1990-е годы лицензионный статус был изменен на долгосрочное хранение.

Критерием выбора места размещения предприятия были геологические особенности участка, который на глубину в несколько десятков метров сложен ледниковыми моренными отложениями глинистых пород с низкой водопроницаемостью, что обеспечивает надежную долговременную защиту водоносных горизонтов от загрязнения. Участок расположен на отметках около 280 м над уровнем моря и тем самым защищен от затопления природного и техногенного характера.

На полигоне расположено почти 50 хранилищ РАО, по большей части в виде заглубленных в грунт железобетонных сооружений вместимостью около 5000 куб. метров (рис. 4). Полость хранилищ разделена на отсеки объемом около 400 м^3 вертикальными перегородками с толщиной стен 400—600 мм. Некоторые хранилища имеют второй ярус в виде наземной части.

В старых хранилищах РАО размещены слоями, в некондиционированных первичных формах (ящики, фляги, канистры, мешки, контейнеры, крупногабаритные изделия, неупакованные грунт и обломки стройматериалов). При заполнении в одном массиве размещались РАО разных категорий — от очень низкоактивных до ОИИИ, и омоноличивались цементным раствором, приготовленным на воде или низкоактивных жидких РАО.

По мере развития технологической базы предприятия доля форм переработанных РАО при размещении в хранилищах увеличивалась за счет золы, пресс-брикетов, блоков битумного компаунда, стекла и шлака.

С начала 2000-х годов РАО размещаются с применением сертифицированных упаковок — бочек, металлических и бетонных контейнеров — в упорядоченных штабелях в хранилищах с консервирующими покрытиями, препятствующими просачиванию воды в массив РАО, водно-ветровой эрозии, чрезмерному развитию корневой системы растений, деятельности норных животных, морозному воздействию на бетон. Пустоты между контейнерами заполнялись балластным глинистым материалом, препятствующим заполнению их водой [6]. Первичное покрытие включает слой отверждённой водоцементной смеси, бетонные плиты и асфальт толщиной 5—10 см. Усиленное покрытие устроено в виде уплотненной насыпи из глинистого грунта. В составе долгосрочных покрытий чередуются слои водоупорных и дренирующих материалов из песка, щебня, глины, синтетических геомембран, геотекстиля.

Согласно нормативным требованиям, хранилища со сроком эксплуатации более 30 лет подлежат детальному обследованию и проведению процедуры продления назначенного срока их действия. Состояние строительных конструкций исследуется ультразвуковым оборудованием, картина загрязнения прилегающей геологической среды определяется путем разработки шурфов и скважин.

В ходе обследования, проведенного в отношении 15 хранилищ со сроком действия от 30 до 60 лет, установлено, что строительные конструкции сооружений находятся в удовлетворительном состоянии, определены сроки их дальнейшей эксплуатации и меры для поддержания эксплуатационных качеств. Типичный проектный срок действия хранилищ РАО — 50 лет.

С 2010 года во ФГУП «РАДОН» эксплуатируется новое хранилище РАО под номером 103В,

концептуальный проект которого разработан еще в середине 1990-х годов в рамках программы TACIS (Техническое содействие СНГ) в сотрудничестве с консорциумом европейских компаний [7]. Тип сооружения — наземное, из монолитного железобетона, с загрузкой упаковок РАО посредством вилочного погрузчика через боковые проемы модулей.

Сооружение состоит из 10 единообразных автономных модулей площадью 38 × 36 м и вместимостью 5000 м^3 РАО. Каждый модуль состоит из 2-х секций по 3 отсека (рис. 5). Первая очередь (4 модуля) проектировалась АО «ГСПИ», вторая (6 модулей) — АО «РАОПРОЕКТ». Строительные конструкции с толщиной стен 0,4 м рассчитаны на землетрясение силой 6 баллов.

Рис. 5. Новое наземное хранилище РАО

Размеры одного отсека: длина 36 м, ширина 6 м, высота 6 м; вместимость — 240 упаковок на основе контейнеров КМЗ

Сооружение снабжено мощным подстилающим экраном, предотвращающим распространение радионуклидов в несущие горные породы и состоящим из слоя уплотненного песка для защиты от подтопления и морозного пучения глинистых грунтов, монолитной железобетонной плиты толщиной 500 мм, гидроизолирующих и дренирующих слоев. Хранилище имеет 3 дренажные системы: для отвода атмосферных осадков, пристенный и внутренний дренажи.

Упаковки РАО размещаются в хранилище в железобетонных и металлических контейнерах, унифицированных по размерам. Система инженерных барьеров, изолирующих РАО от внешней среды, включает матричные материалы для иммобилизации РАО, сертифицированные контейнеры, строительные конструкции хранилищ, консервирующие покрытия.

Проект и порядок эксплуатации хранилища отвечают условиям действия лицензии и следующим современным нормативным требованиям при хранении отходов [6]:

- использование сертифицированных контейнеров;
- адресное складирование с регистрацией местоположения каждой упаковки, обеспечивающее возможность их извлечения;
- строительные конструкции с защитой от проникновения атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод, вентиляцией помещений;
- средства радиационного контроля, осмотра, ревизии упаковок ТРО;
- дезактивация внутренних поверхностей хранилища, сбор и удаление влаги.

Отчетом по обоснованию безопасности (ООБ) при лицензировании хранилища установлен перечень факторов, событий, явлений, которые могут воздействовать на сооружение, включающий взрыв и пожар на газопроводе и на топливо-заправочной станции, лесной пожар, дорожная авария при перевозке токсичных веществ. Оценено радиационное воздействие объекта на персонал и население при реализации различных исходных событий, вызванных нарушениями нормальной эксплуатации.

Хранилища РАО должны обладать изолирующими свойствами, препятствующими миграции радионуклидов во внешнюю среду, и быть устойчивыми к внешним воздействиям.

ПХРО ФГУП «РАДОН» действует согласно программе эксплуатации, включающей систематический контроль состояния сооружений и эффективности инженерных барьеров, ремонт и реконструкцию дренажных систем и консервирующих покрытий, культивирование растительного покрова, ремедиацию загрязненных участков.

Учет и контроль РАО на предприятии осуществляется обособленной службой — участком учета и контроля РАО в соответствии с нормативными требованиями, с регулярным направлением отчетности в информационно-аналитический центр государственной системы учета и контроля РАО. Для хранения и обработки информации применяется электронная учетная база данных, фиксирующая радиологические и прочие свойства РАО и адресное местоположение каждой упаковки по алгоритму «модуль, отсек, ряд, ярус, место».

В 2014 году была проведена первичная регистрация РАО с созданием госреестра накопленных отходов и госкадастра объектов их хранения. Накопленные РАО распределяются по категориям: особые, удаляемые. Пункты размещения особых РАО подлежат преобразованию в ПЗРО. Удаляемые РАО должны извлекаться из хранилищ и захораниваться на других объектах.

Рис. 6. Пункт хранения РАО: на переднем плане действующее наземное хранилище, на отдельных хранилищах — долгосрочные консервирующие покрытия

По актам первичной регистрации современный статус каждого хранилища НПК-СПФ — пункт долговременного хранения РАО. Решение об отнесении РАО к особым или удаляемым отложено для НПК-СПФ до 2030 г. (рис. 6).

Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН) проведено исследование по теме «Разработка комплекса мер для осуществления ФГУП «РАДОН» деятельности по обращению с накопленными РАО на основе оценок долговременной безопасности систем размещения РАО», направленное на определение стратегии обращения с накопленными РАО в каждом отдельном хранилище [8]. Исходный материал — учетные данные по накопленным РАО в сооружениях НПК-СПФ и результаты мониторинга площадки.

По результатам исследования выпущен научный отчет с оценкой альтернативных вариантов захоронения накопленных РАО: на месте или с перемещением на другой объект. В процессе работ выполнены:

- сравнительная оценка стоимости вариантов вывода из эксплуатации или преобразования хранилищ в объекты для бессрочной изоляции РАО;
- сравнительная оценка доз облучения персонала при выполнении этих работ;
- рекомендации по будущему статусу конкретных хранилищ;
- оценка допустимых пределов по активности РАО, которые можно размещать в действующих сооружениях, а также в новом гипотетическом объекте.

Разработаны предложения по отнесению отдельных сооружений к пунктам долговременного хранения удаляемых РАО, пунктам размещения особых РАО или пунктам захоронения РАО. Выполнены оценки стоимости перевода хранилищ в пункты консервации РАО без их извлечения.

Оценка долговременной безопасности выполнена для разных вариантов эволюции сооружений. Периоды оценки:

- активный институциональный контроль, до 100 лет;
- пассивный институциональный контроль, 100—300 лет;
- без контроля, по истечении 300 лет.

Моделировались длительные процессы миграции радионуклидов в геологической среде по сценариям: с применением или без применения долгосрочных покрытий, 7-балльное землетрясение, ненамеренное вторжение в систему путем бурения скважин, строительство дороги.

Как пример результатов можно показать, что возможное вторжение человека в систему размещения РАО через 300 лет после закрытия хранилищ не приводит к превышению дозового критерия 10 мкЗв/год для представителей референтной группы населения.

Радиационная безопасность

Профессиональная готовность персонала к проведению радиационно опасных работ обеспечивается процедурой допуска, обучением и проверкой знаний.

Действующей программой радиационного контроля установлены объекты его проведения, периодичность, аппаратура, порядок отчетности и параметры, при контроле рабочих мест включающие уровень гамма- и нейтронного излучения, плотность потока β-частиц, поверхностное загрязнение помещений и оборудования, объемную активность радионуклидов в воздухе помещений. Служба радиационной безопасности выполняет статистическую обработку данных контроля и их сравнение с результатами прошлых лет, определение основных дозообразующих факторов. Действует центральный пункт контроля радиационной обстановки в помещениях технологических зданий.

Интенсивность контроля зависит от характера процессов. Сортировка и фрагментирование, сжигание, прессование РАО требуют значительной доли участия персонала, поэтому уровень излучения упаковок ограничивается. Процессы концентрирования ЖРО управляются дистанционно.

В зависимости от степени радиационного воздействия выделяются помещения постоянного и временного пребывания персонала.

Для оптимизации радиационной защиты устанавливаются контрольные уровни облучения персонала и воздействия предприятия на объекты окружающей среды. Основные меры радиационной защиты персонала: вентиляция и спецканализация помещений; ограничение времени работы; механизация процессов; применение дополнительных средств индивидуальной защиты.

Проектными и технологическими документами на установки определены эксплуатационные пределы и условия их работы, системы и элементы классифицированы по влиянию на безопасность, установлены меры их технического обслуживания.

При подготовке отчетов по обоснованию безопасности выполняются расчеты доз внешнего и внутреннего облучения персонала в отношении нормальных условий работы и их нарушений на основе исходных данных о радионуклидном составе РАО. Готовятся схемы размещения оборудования (источников излучения) и рабочих мест. Рассматриваются общие сценарии: разрушение упаковок РАО с загрязнением воздуха, прекращение электроснабжения, пожар, а также сценарии, связанные с конкретными процессами, например возможный паровой взрыв при контакте охлаждающей воды с расплавом шлака.

Эффективность системы радиационного контроля предприятия подтверждается фиксированием в период с 31 марта по 11 апреля 2011 года повышенного содержания в атмосфере радионуклидов йод-131, цезий-134 и цезий-137, связанного с аварией 11 марта на АЭС Фукусима. Значения составляли от 0,00004 до 0,0001 Бк/м^3, что на 4 порядка ниже допустимой нормы для населения. В другое время эти нуклиды в атмосфере не обнаруживаются.

Воздействие предприятия на внешнюю среду контролируется путем анализа проб дренажных вод и вентиляционного воздуха. Предельно допустимые сбросы загрязняющих веществ в водоток и выбросы в атмосферу устанавливают специализированные организации на основе математического моделирования процессов миграции радионуклидов в геологической среде и их рассеяния в атмосфере по следующим путям потенциального облучения населения:

- внешнее облучение: от газоаэрозольного облака, от радионуклидов, осевших на землю;
- внутреннее облучение: от вдыхания загрязненного воздуха (ингаляционный путь), от радионуклидов, попавших в организм по пищевым цепочкам, через загрязненную воду и почву.

Установлены контрольные уровни по суммарной удельной бета- и альфа-активности стоков, допускающие их сброс в промышленную канализацию или в открытый водоток.

По результатам расчетов и оценок радиационного воздействия, НПК-СПФ отнесен к III категории потенциальной радиационной опасности, т. е. при максимальной радиационной аварии доза потенциального облучения населения за пределами промышленной площадки не превысит нормативного уровня в 1 мЗв/год. Выбор максимальной радиационной аварии основан на анализе последствий четырех видов нарушений нормальной работы на разных производственных объектах, связанных с разрушением упаковок РАО и пожаром.

По правилам и нормам атомной энергетики каждый радиационный объект должен иметь административные и технические средства по смягчению последствий возможных нарушений нормальной работы, что обеспечивает аварийную готовность и является одним из условий действия лицензии на эксплуатацию ПХРО. В НПК-СПФ действуют инструкции по предупреждению и ликвидации последствий аварий, имеются аварийные комплекты. Технологическими регламентами и инструкциями

установлен порядок действий персонала при нарушениях нормальной работы, состав аварийных комплектов и т. д. Проводятся противоаварийные тренировки персонала, действует План мероприятий по его защите в случае радиационной аварии, имеются технические средства для выполнения восстановительных работ.

Экспертами ИБРАЭ РАН выполнен анализ запроектных аварий на площадке НПК-СПФ [8]. Расчеты выполнены для гипотетических аварий, вызванных смерчем высокой интенсивности и падением самолета на наземное хранилище РАО.

Предполагалось, что под воздействием смерча происходит обрушение конструкций технологического здания и разрушение упаковок РАО. При падении самолета происходит первичный взрыв с разрушением одной из секций хранилища и части упаковок РАО и последующий пожар.

В качестве промежуточных результатов расчетов определены высота подъема загрязненного облака, путь распространения загрязнений, параметры их рассеяния в атмосфере, точки максимума приземных концентраций. В расчетах консервативно принималась категория устойчивости атмосферы, вызывающая минимальную высоту подъема облака.

Итогом расчета были дозы облучения персонала и населения. Показано, что наибольшие дозы, как обычно, связаны с пищевыми цепочками.

Общий результат состоит в том, что рассмотренные запроектные аварии не вызовут превышений основных дозовых пределов для персонала и не повлияют на условия нормальной жизнедеятельности населения.

Один из выводов отчета ИБРАЭ РАН: «...в настоящее время Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН» располагает всем необходимым оборудованием и материалами для оперативной ликвидации последствий запроектных аварий».

Литература

1. МосНПО «Радон»—50. Люди, годы, судьбы. — М. : ИБДГ, 2010.

2. *Горбунов В. А., Полканов М. А.* Плазменно-пиролитическая переработка твердых радиоактивных отходов АЭС // Вопросы радиационной безопасности. 2014. № 3 (75). С. 26—31.

3. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами: Сборник трудов МАГАТЭ IAEA-TCS-27. Вена, 2005. 230 с.

4. *Осташкина Е. Е., Савкин А. Е., Сластенников Ю. Т.* Обоснование промышленного кондиционирования отработанных ионообменных смол методом включения в полимерное связующее // Атомная энергия. 2024. Т. 136. № 1—2. С. 60—64.

5. *Кадыров И. И.* Развитие системы обращения с радиоактивными отходами при создании комплекса по переработке РАО во ФГУП «РАДОН» // Шестой научно-технический семинар «Проблемы переработки и кондиционирования радиоактивных отходов», 26—29 июня 2023 г., Санкт-Петербург: сб. тезисов докладов. — Санкт-Петербург, АНО ДПО «Техническая академия Росатома», 2023. С. 78—84.

6. *Павлов Д. И., Сорокин В. Т., Баринов А. С., Демин А. В., Сыченко Д. В.* Научно-технические и проектные основы создания конструкций приповерхностных пунктов захоронения низко- и среднеактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2021. № 4 (17). С. 65—74. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-4-65-77.

7. *Супатаева О. А.* Опыт реализации проекта TACIS по разработке стратегии создания в Российской Федерации единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. В кн.: Россия—ЕС: энергетическое право. — М. : Институт государства и права, 2013. С. 116—124.

8. Основные результаты работ за 2020 г. / Под общ. ред. акад. РАН Л. А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН). — М., 2021. 102 с.

Информация об авторах

Макаров Евгений Петрович, директор, Научно-производственный комплекс — Сергиево-Посадский филиал ФГУП «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» (141335, Московская обл., Сергиево-Посадский городской округ, с. Шеметово, д. 5, тер. «Радон»), e-mail: EPeMakarov@radon.ru.

Кадыров Ильгиз Иванович, начальник производственно-технического отдела, Научно-производственный комплекс — Сергиево-Посадский филиал ФГУП «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды»

(141335, Московская обл., Сергиево-Посадский городской округ, с. Шеметово, д. 5, тер. «Радон»), e-mail: IlIKadyrov@radon.ru.

Осташкина Елизавета Евгеньевна, ведущий инженер-технолог, Научно-производственный комплекс — Сергиево-Посадский филиал ФГУП «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» (141335, Московская обл., Сергиево-Посадский городской округ, с. Шеметово, д. 5, тер. «Радон»), e-mail: EEOstashkina@radon.ru.

Лащенов Сергей Михайлович, ведущий инженер-технолог, Научно-производственный комплекс — Сергиево-Посадский филиал ФГУП «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» (141335, Московская обл., Сергиево-Посадский городской округ, с. Шеметово, д. 5, тер. «Радон»), e-mail: SMLaschenov@radon.ru.

Библиографическое описание статьи

Макаров Е. П., Кадыров И. И., Осташкина Е. Е., Лащенов С. М. Деятельность ФГУП «РАДОН» по обращению с радиоактивными отходами // Радиоактивные отходы. 2025. №4(33). С. 6—17. DOI: 10.25283/2587-9707-2025-4-6-17.

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT ACTIVITIES OF FSUE RADON

Makarov E. P., Kadyrov I. I., Ostashkina E. E., Laschenov S. M.

Research and Production Complex — Sergiev Posad Branch of Joint Ecological-Technological and Research Center for Disposal of Radioactive Waste and Environmental Protection FSUE, Sergiev Posad, Moscow region, Russia

Article received on November 10, 2025

This article overviews FSUE RADON's activities addressing pressing challenges associated with the management of low- and intermediate-level waste (RW) in various aggregate states, as well as spent radiation sources (SRS).
For RW conditioning purposes, FSUE RADON utilizes methods and facilities providing segregation, pressing, heat treatment and metal decontamination, employs advanced measuring and analytical control equipment and operates a fleet of specialized vehicles.
The company operates modern RW storage facilities and is gaining experience in the remediation, maintenance and decommissioning of 'legacy' storage facilities not fully meeting all modern requirements.
All RW management processes are rigorously documented, the radiation impact on the population and the environment is assessed, and operational disruptions are either prevented or their consequences are mitigated.
The FSUE RADON's responsibilities also include radiation monitoring and inspection of facilities and the cleanup of contaminated areas.

Keywords: *radioactive waste, radiation sources, processing, incineration, pressing, conditioning, storage, disposal, radiation monitoring.*

References

1. *MosNPO Radon — 50. Lyudi, gody, sud'by* [MosNPO Radon — 50. People, Years, Fates]. Moscow, IBDG Publ., 2010.
2. Gorbunov V. A., Polkanov M. A. Plazmenno-piroliticheskaya pererabotka tverdykh radioaktivnykh otkhodov AES [Plasma-pyrolytic treatment of the solid radioactive waste from the nuclear power plants]. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti — Radiation Safety Issues,* 2014, no. 3 (75), pp. 26—31.
3. Technological and organizational aspects of radioactive waste management: IAEA Proceedings Collection IAEA-TCS-27. Vienna, 2005. 230 p.
4. Ostashkina E. E., Savkin A. E., Slastennikov Yu. T. Obosnovaniye promyshlennogo konditsionirovaniya

otrabotannykh ionoobmennykh smol metodom vklyucheniya v polimernoye svyazuyushcheye [Justification of the industrial conditioning spent ion-exchange resins by inclusion in a polymer binder]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy,* 2024, vol. 136, no. 1—2, pp. 60—64.

5. Kadyrov I. I. *Razvitiye sistemy obrashcheniya s radioaktivnymi otkhodami pri sozdanii kompleksa po pererabotke RAO vo FGUP "RADON"* [Development of a Radioactive Waste Management System during the Establishment of a Radioactive Waste Processing Complex at FSUE RADON]. *Shestoy nauchno-tekhnicheskiy seminar "Problemy pererabotki i konditsionirovaniya radioaktivnykh otkhodov"* [Sixth Scientific and Technical Workshop on Challenges in Radioactive Waste Processing and Conditioning], June 26—29, 2023, St. Petersburg: Collection of Abstracts. St. Petersburg: ANO DPO "Tekhnicheskaya akademiya Rosatoma" [Autonomous non-profit organization of additional professional education Technical Academy of Rosatom], 2023. Pp. 78—84.

6. Pavlov D. I., Sorokin V. T., Barinov A. S., Demin A. V., Sychenko D. V. Nauchno-tekhnicheskiye i proyektnyye osnovy sozdaniya konstruktsiy pripoverkhnostnykh punktov zakhoroneniya nizko- i sredneaktivnykh otkhodov [Scientific and Design Aspects in the Development of Near-Surface Disposal Facilities for Low-And Intermediate-Level Waste]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste,* 2021, no. 4 (17), pp. 65—77. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-4-65-77.

7. Supataeva O. A. *Opyt realizatsii proyekta TACIS po razrabotke strategii sozdaniya v Rossiyskoy Federatsii yedinoy gosudarstvennoy sistemy obrashcheniya s radioaktivnymi otkhodami i otrabotavshim yadernym toplivom* [Experience from the TACIS project on the development of a strategy for the establishment of a unified state system for radioactive waste and spent nuclear fuel management in the Russian Federation]. In book: Russia—EU: Energy Law. Moscow, The Institute of State and Law of The Russian Academy of Sciences Publ., 2013. Pp. 116—124.

8. *Osnovnyye rezul'taty rabot za 2020 g. In-t problem bezopasnogo razvitiya atomnoy energetiki Rossiyskoy akademii nauk (IBRAE RAN)* [Key performance results for 2020. Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS)]. Moscow, IBRAE RAS Publ., 2021. 102 p.

Information about the authors

Makarov Evgeny Petrovich, Director, Research and Production Complex — Sergiev Posad Branch of Joint Ecological-Technological and Research Center for Disposal of Radioactive Waste and Environmental Protection FSUE (5, Shemetovo village, ter. "RADON", Sergiev Posad city district, Moscow region, 141335, Russia), e-mail: EPeMakarov@radon.ru.

Kadyrov Ilgiz Ivanovich, Head of the Production and Technical Department, Research and Production Complex — Sergiev Posad Branch of Joint Ecological-Technological and Research Center for Disposal of Radioactive Waste and Environmental Protection FSUE (5, Shemetovo village, ter. "RADON", Sergiev Posad city district, Moscow region, 141335, Russia), e-mail: IlIKadyrov@radon.ru.

Ostashkina Elizaveta Evgenyevna, Leading Process Engineer, Research and Production Complex — Sergiev Posad Branch of Joint Ecological-Technological and Research Center for Disposal of Radioactive Waste and Environmental Protection FSUE (5, Shemetovo village, ter. "RADON", Sergiev Posad city district, Moscow region, 141335, Russia), e-mail: EEOstashkina@radon.ru.

Lashchenov Sergey Mikhailovich, Leading Process Engineer, Research and Production Complex — Sergiev Posad Branch of Joint Ecological-Technological and Research Center for Disposal of Radioactive Waste and Environmental Protection FSUE (5, Shemetovo village, ter. "RADON", Sergiev Posad city district, Moscow region, 141335, Russia), e-mail: SMLaschenov@radon.ru.

Bibliographic description

Makarov E. P., Kadyrov I. I., Ostashkina E. E., Laschenov S. M. Radioactive Waste Management Activities of FSUE RADON. *Radioactive Waste,* 2025, no. 4 (33), pp. 6—17. DOI: 10.25283/2587-9707-2025-4-6-17. (In Russian).