

Финляндия

В конце августа 2024 года компания Posiva заявила о запуске этапа опытной эксплуатации финского ПГЗРО, который, как ожидается, продлится несколько месяцев. Эта стадия еще не предусматривает проведения работ с реальным ОЯТ, захоронение которого в дальнейшем планируется осуществлять на глубине 430 м в герметичных контейнерах из железа и меди в окружении буферного барьера из бентонита [1].

В ходе текущего этапа работ в скважины глубиной восемь метров, пробуренные в туннеле протяженностью 70 м, предполагается установить четыре контейнера для захоронения ОЯТ. После завершения их загрузки в скважины туннель заполняют бентонитовой глиной и загерметизируют пробкой из бетона. Также будут отработаны операции по извлечению поврежденного контейнера и его подъему на поверхность. В целом этот комплекс мероприятий можно считать первым испытанием оборудования и систем финского ПГЗРО одновременно.

Из четырех задействованных в испытаниях контейнеров, в двух были размещены грузы весом, аналогичным весу ОЯТ, а в третьем — инкапсулированы элементы, внешне напоминающие настоящие ОТВС. Перед захоронением ОТВС не подлежат разборке, при том что масса одной топливной сборки составляет около четверти тонны. Для окончательного захоронения ОЯТ используются контейнеры из меди и чугуна с шаровидным графитом, упаковка топлива в которые проводится в специальных камерах, предназначенных для работы с ОЯТ, со стенами из бетона толщиной около 1,3 метра. После заполнения контейнера топливными сборками в него закачивают аргон и герметизируют внутренней крышкой из стали.

Устанавливаемая поверх крышка из меди герметично приваривается к контейнеру методом сварки трением при вращении, а герметичность такого соединения проверяется посредством визуального, а также вихретокового и ультразвукового методов контроля. Представители компании Posiva отмечают, что герметичность

уплотнительного соединения, формируемого при использовании данного метода, сопоставима с непроницаемостью непосредственно самой оболочки контейнера. К настоящему времени первые три контейнера успешно прошли этапы сварки и механообработки, проводится заполнение и герметизация четвертого.

Площадка завода по инкапсуляции ОЯТ сообщается с подземной частью ПГЗРО посредством специального лифта, предназначенного для перемещения контейнеров вниз до уровня подземной станции по приему ОЯТ, расположенной на глубине 430 метров, откуда их уже доставляют в туннели захоронения с помощью транспортно-установочного транспортера.

Согласно текущим планам, настоящее ОЯТ начнет поступать на окончательную изоляцию в финский ПГЗРО уже в середине 2020-х годов. Заявка на получение лицензии на его эксплуатацию сроком действия с марта 2024 года по конец 2070 года была направлена на рассмотрение финским властям еще в декабре 2021 года. Однако для того чтобы правительство страны смогло ее одобрить, предварительно требуется получение положительного заключения от регулятора — Управления по радиационной и ядерной безопасности Финляндии (STUK), которое приступило к рассмотрению данных материалов в мае 2022 года, но в январе 2024 года попросило продлить срок их рассмотрения до конца 2024 года [1].

Швеция

В конце октября 2024 года шведский оператор по обращению с РАО, компания Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), получив экологическое разрешение на строительство и эксплуатацию пункта глубинного геологического захоронения ОЯТ в Форсмарке (рис. 1) и объекта по инкапсуляции ОЯТ в Оскарсхамне, приступил к проведению подготовительных работ на площадках обоих объектов.

Процесс рассмотрения заявки на получение этого разрешения занял больше 10 лет. Согласно утвержденной в Швеции системе



Рис. 1. Эскизный проект объектов на площадке будущего ПГЗРО в Форсмарке [2]

лицензирования подобных объектов, соответствующие документы были направлены оператором в Суд по вопросам охраны окружающей среды и землепользования еще в 2011 году. На базе представленных материалов Суд подготовил собственный отчет, в 2017 году организовал общественные слушания, а в 2018 году представил свое заключение по данному проекту на рассмотрение правительству страны, которое 27 января 2022 года официально подтвердило соответствие указанной в заявке SKB деятельности положениям Экологического кодекса Швеции.

Разрешение, полученное SKB осенью 2024 года, позволило оператору приступить к подготовительному этапу работ, предваряющему строительство как ПГЗРО, так и завода по инкапсуляции ОЯТ. В частности, к ним относится вырубка леса, выемка грунта внутри периметра рабочей зоны, организация территории для хранения породы, строительство моста через канал с охлаждающей водой, оборудование рабочей зоны и установок для очистки.

Также в материалах разрешения определены условия, которым должна соответствовать осуществляемая оператором деятельность. В разрешении указано, что в ПГЗРО могут быть захоронены РАО из 12 шведских реакторов¹, являющихся частью текущей атомно-энергетической программы Швеции. Положения выданного Судом разрешения не распространяются на отходы, которые могут образоваться в случае возможного запуска новой программы в сфере атомной энергетики. Всего в ПГЗРО на глубине около 500 метров SKB может разместить около 6 000 контейнеров, способных содержать примерно 12 000 тонн ОЯТ. Согласно текущим

¹ В Швеции в 1980 году был проведен «необязывающий» референдум, в ходе которого население высказалось за постепенный отказ от атомной энергетики. С тех пор шесть из 12 реакторов были остановлены, а оставшиеся производят около 30 % электроэнергии в Швеции.

планам этап эксплуатации ПГЗРО составит приблизительно 70 лет, но может продлиться и дольше, если, к примеру, срок эксплуатации существующих реакторов будет решено продлить.

Условия, указанные в разрешении, призваны ограничить негативное воздействие деятельности по захоронению РАО на окружающую среду, в частности, посредством реализации защитных мер по шумопонижению, снижению уровня грунтовых вод, объемов сбросов и т. д. Ряд условий направлен на защиту охраняемых видов животных и природных территорий в Форсмарке. Кроме того, SKB обязуется осуществлять экологический мониторинг, в том числе и на этапе после закрытия ПГЗРО, и гарантирует сохранение получаемой информации для будущих поколений.

Для того чтобы SKB смогла приступить к работам по прокладке подземных сооружений ПГЗРО, шведский ядерный регулятор в лице Управления по радиационной безопасности (SSM) должен выдать положительное заключение по результатам рассмотрения материалов отчета по безопасности. В настоящее время SSM продолжает поэтапную экспертизу полученных от SKB материалов на соответствие положениям Закона о ядерной деятельности.

Представители компании SKB отмечают, что к строительству ПГЗРО в Форсмарке планируется приступить на два года раньше, чем к сооружению завода по инкапсуляции ОЯТ в Оскархамне, так как на сооружение пункта захоронения должно уйти больше времени. Ожидается, что оба объекта будут введены в эксплуатацию в середине 2030-х годов [2].

Германия

В сентябре 2024 года Министерство окружающей среды Нижней Саксонии отклонило ходатайство двух экозащитных организаций NABU и BUND об отмене или отзыве решения об утверждении плана строительства ПГЗРО «Конрад» для низко- и среднеактивных радиоактивных отходов (НАО и САО)² (рис. 2) [3], полученного в 2002 году и подтвержденного в 2007 году постановлением Федерального административного суда, а в январе 2008 года регулятором была выдана лицензия на строительство объекта.

В мае 2021 года экозащитные организации NABU и BUND уже подавали ходатайство об

² Железорудный рудник Конрад в Зальцгиттере (Нижняя Саксония) был закрыт по экономическим соображениям в 1976 году, и в том же году на площадке были запущены исследования, призванные оценить его пригодность для использования в качестве ПГЗРО НАО и САО.



Рис. 2. Площадка закрытого рудника по добыче железной руды «Конрад» [3]

аннулировании или отзыве уже выданного Министерством решения об утверждении плана строительства ПГЗРО «Конрад» и прекращении строительных работ на площадке. В течение нескольких лет Министерство окружающей среды Нижней Саксонии внимательно изучало материалы дела, в конечном счете пришло к выводу о несостоятельности указанных в ходатайстве заявлений, в связи с чем работы на площадке будущего ПГЗРО продолжают в соответствии с утвержденным графиком.

В настоящее время на площадке закрытого рудника Конрад проводятся работы по его переоборудованию в ПГЗРО: два шахтных ствола рудника планируется отремонтировать и оснастить подземные выработки необходимой для захоронения РАО инфраструктурой, в том числе предполагается осуществить проходку транспортных галерей для доставки отходов в зоны захоронения, которые будут организованы на глубине около 850 метров. Также под землей проводятся строительные работы по возведению новых объектов, в частности перегрузочного зала.

К захоронению РАО в объеме до 303 000 кубических метров планируется приступить в начале 2030-х годов. По объему на них приходится примерно 95 % всех отходов, накопленных в Германии, и всего 1 % радиоактивности. В настоящее время они содержатся в пунктах временного хранения на более чем 30 площадках. После транспортировки в новый ПГЗРО контейнеры с этими отходами планируется иммобилизовать раствором из бетона и разместить в герметичных подземных выработках. После этого все пустоты будут засыпаны и герметично запечатаны, что позволит обеспечить безопасность захоронения РАО на длительный срок [3].

Япония

В сентябре 2024 года результаты экспертизы, проведенной командой специалистов из

Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), подтвердили соответствие стандартам безопасности предложенного Японией технологического процесса по переработке и захоронению загрязненного грунта и РАО (рис. 3), образующихся при очистке территорий, пострадавших вследствие аварии на АЭС «Фукусима Дайичи» в марте 2011 года [4].



Рис. 3. Площадка вблизи АЭС «Фукусима Дайичи», используемая для временного хранения загрязненного грунта [4]

Всего в рамках мероприятий по очистке загрязненных территорий в префектуре Фукусима было удалено около 13 млн м³ загрязненного грунта и около 300 тыс. м³ золы, образовавшейся в результате сжигания органических материалов. Эти отходы были размещены на площади 16 км² в пункте временного хранения, организованном на землях между городами Окума и Футаба.

Согласно положениям национального законодательства, правительство Японии имеет право выдать разрешение на повторное использование почвы как в префектуре Фукусима, так и за ее пределами при условии соблюдения соответствующих нормативов безопасности, а также к 2045 году намерено окончательно изолировать часть почвы и РАО, не отвечающих таким требованиям, в пункте захоронения за границами этой территории. Всего Япония планирует переработать и повторно использовать примерно 75 % удаленной почвы с низким уровнем радиоактивности, если удастся доказать безопасность ее применения для строительства гражданских инженерных объектов, включая насыпи автомобильных и железных дорог, морские дамбы, площадки для утилизации отходов, конструкции для укрепления морских берегов и т.п. Оставшиеся 25 %, не подлежащие переработке, планируется окончательно изолировать в ПЗРО, площадка для сооружения которого должна быть определена к 2025 году.

В мае и октябре 2023 года и феврале 2024 года по запросу японской стороны группой, организованной МАГАТЭ и включавшей пять сотрудников агентства и шесть международных экспертов из Бельгии, Германии, Японии, Великобритании и США, были выполнены три международных экспертных миссии, предусматривавшие проведение консультаций и предоставление рекомендаций как по техническим вопросам, в том числе связанным с обеспечением безопасности, так и по социальным аспектам, касающимся предложенного плана повторного использования и окончательного захоронения загрязненного грунта.

10 сентября 2024 года группа экспертов направила итоговый отчет по результатам проведенных миссий на рассмотрение министру окружающей среды Японии Синтаро Ито. В нем сделано заключение, что проактивный подход, предложенный Министерством окружающей среды Японии, к обращению с удаленной почвой и РАО, образующимися в результате проведения мероприятий по очистке загрязненных территорий, отражает приверженность японской стороны к обеспечению безопасности, защите здоровья населения и содействию в поддержании экологической устойчивости как в префектуре Фукусима, так и за ее пределами. МАГАТЭ намерено и в дальнейшем оказывать содействие Японии в решении вопросов, связанных с переработкой и окончательной изоляцией удаленной почвы и отходов, посредством проведения последующих экспертиз.

К концу лета 2024 года в Японии были также оглашены новые сроки завершения строительства заводов по переработке ОЯТ и изготовлению МОКС-топлива в Роккасё (префектура Аомори) — 2026 и 2027 годы соответственно.



Рис. 4. Площадка строящегося завода по переработке ОЯТ и производству МОКС-топлива в Роккасё [5]

Строительство завода по переработке ОЯТ в Роккасё (рис. 4), стартовавшее в 1993 году, изначально планировалось завершить к 1997 году.

Технология переработки ОЯТ, положенная в основу проекта, аналогична реализованной на французском заводе Ла-Аг. Максимальная производительность установки должна составить 800 тонн ОЯТ в год. В конце 2010 года в Роккасё также началось строительство завода по производству МОКС-топлива проектной мощностью 130 тонн в год. Однако в связи с целым рядом обстоятельств возведение обеих установок завершить так и не удалось, в частности из-за пересмотра сейсмических критериев после сильнейшего землетрясения Ниигата-Тюэцу-Оки в 2004 году, когда сроки сдачи объектов сдвинулись на 3 года.

В декабре 2013 года после аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии вступили в силу новые стандарты безопасности для предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Требования различаются в зависимости от категории предприятия, но в целом включают усиление защиты от природных угроз, таких как землетрясения и цунами, а в некоторых случаях — торнадо, вулканы и лесные пожары. Так, заводы по переработке ОЯТ должны отвечать новым стандартам, в частности на них должны быть обеспечены меры по недопущению террористических атак, взрывов водорода, пожаров, возникающих в результате утечек растворителя и испарения жидких отходов.

С тех пор сроки ввода объектов в эксплуатацию многократно переносили, а сам процесс экспертизы соответствия проектов заводов по переработке ОЯТ и производству МОКС-топлива, по словам специалистов, «затягивается из-за отсутствия, в отличие от атомных электростанций, прецедента и необходимости проверки на соответствие требованиям чрезвычайно большого количества единиц оборудования (примерно 20 000 единиц)» [5].



Рис. 5. Внешний вид нового ПХ ОЯТ в Мутсу [6]

Тем временем, в начале ноября 2024 года, Управление по ядерному регулированию Японии (NRA) выдало лицензию на эксплуатацию

пункта временного сухого хранения ОЯТ (ПХ) в Муцу, префектура Аомори. В Японии этот объект стал первым в своем роде (рис. 5) [6]. Строительные работы на площадке будущего ПХ стартовали еще в 2010 году и должны были завершиться к июлю 2012 года. В итоге они были полностью окончены позже намеченного срока — в августе 2013 года. Однако в декабре 2013 года из-за вступления в силу новых стандартов безопасности для установок ЯТЦ оператору объекта, компании RFS (Recyclable-Fuel Storage Company), потребовалось провести дополнительную экспертизу, призванную оценить его способность противостоять воздействию землетрясений, цунами, вулканической активности и торнадо. В марте 2016 года RFS направила материалы первоначального проекта и программу строительства на рассмотрение NRA; свое решение в отношении ПХ регулятор огласил лишь 11 ноября 2020 года. В связи с таким промедлением в рассмотрении материалов RFS в свою очередь объявила о переносе сроков начала реализации дополнительных мер по обеспечению безопасности с 2019 года на 2021.

В сентябре 2024 года представители компании Терсо объявили о том, что 69 ОТВС, выгруженных из четвертого блока АЭС Касивадзаки-Карива в префектуре Ниигата, были успешно доставлены на площадку нового ПХ. Согласно проекту он сможет вместить в общей сложности около 3 000 тонн ОЯТ — речь идет о высокоактивных тепловыделяющих сборках, выгружаемых из реакторов с кипящей водой и с водой под давлением. Кроме того, проектом предусмотрена возможность увеличения его полезной емкости до 5 000 тонн. Там ОЯТ будет храниться в контейнерах на протяжении 50 лет, после чего его планируется переработать на заводе в Роккасе, строящемся всего в 50 км от нового ПХ. Затем полученную смесь из восстановленных оксидов урана и плутония подвергнут переработке с целью производства свежего МОКС-топлива на расположенном неподалеку заводе.

США

В августе 2024 года власти США заявили о завершении одного из самых масштабных в истории страны проектов по рекультивации почвы на территории технологического парка Восточного Теннесси — одной из площадок, принимавших участие в осуществлении Манхэттенского проекта и деятельности по обогащению урана во времена «холодной» войны. Именно на ней некогда располагался Окриджский газодиффузионный завод, известный как объект К-25,

сооруженный в рамках Манхэттенского проекта и продолжавший вести обогащение урана вплоть до своего закрытия в 1987 году. Оператором, ответственным за проведение работ по очистке территории комплекса, стало Управление по охране окружающей среды Ок-Риджа (OREM), учрежденное при Министерстве энергетики США, а его основным подрядчиком выступила компания United Cleanup Oak Ridge LLC (UCOR) [7].

Работы по рекультивации территории в общей сложности заняли более двух десятилетий, и теперь очищенные земли на площадке бывшего ядерного комплекса могут быть переданы в общественное пользование. Демонтаж свыше пятисот различных зданий и сооружений был завершен в 2020 году, после чего специалисты принялись за удаление плит фундамента снежных зданий и извлечение находившегося под ними загрязненного грунта (рис. 6). Всего в результате данных работ было ликвидировано и захоронено почти 424 тыс. м³ почвы.



Рис. 6. Проведение работ по рекультивации грунта на площадке технологического парка Восточного Теннесси [7]

На сегодняшний день OREM уже передало более 688 га земли в общественное пользование, что должно обеспечить новый стимул для экономического развития всего региона (рис. 7). В следующем году оператор планирует передать еще несколько десятков гектаров земель. Двадцать пять частных предприятий уже разместили свои объекты или объявили о планах строительства на этих землях, что принесло около 1,35 млрд долларов США инвестиций и обеспечило создание около 1 400 новых рабочих мест.

Так, например, летом 2024 года компания Kairos Power приступила к сооружению первого опытно-демонстрационного реактора IV поколения малой мощности Hermes — реактора с шаровыми твэлами TRISO и фтористо-солевым теплоносителем низкого давления, рассчитанного на достижение тепловой мощности 35 МВт.



Рис. 7. Вид на территорию технологического парка Восточного Теннесси до проведения работ по очистке территории (слева) и после завершения сноса зданий и рекультивации земель (справа) [7]

Это лишь прототип установки: он не предназначен для генерации электроэнергии в промышленных масштабах, а лишь позволит отработать технологии, которые в будущем должны существенно образом снизить затраты на ее производство в США. Кроме того, за последние 50 лет это первый в стране реактор, не использующий воду в качестве теплоносителя: такое решение позволяет повысить безопасность за счет его автоматического останова в случае аварии и обеспечения эффективного отвода тепла. Строительство реактора Hermes, получившего грант Министерства энергетики США на 303 млн долларов, собираются завершить к 2027 году.

К 2026 году на площадке планируется закончить реализацию комплекса работ по очистке грунтовых и поверхностных вод, после чего можно считать, что все заявленные в рамках программы по дезактивации территории технологического парка Восточного Теннесси задачи были успешно выполнены.

Франция

В середине октября 2024 года компания Orano открыла во Франции завод по производству контейнеров TN Eagle нового поколения длиной 5 метров, диаметром 3 метра и весом 150 тонн, предназначенных для транспортировки и сухого хранения ОЯТ (рис. 8) [8]. Проект контейнера был одобрен Французским управлением по ядерной безопасности в 2020 году и Комиссией по ядерному регулированию США в ноябре 2023 года. По сути TN Eagle — это современная модель транспортных комплектов типа В, к которым также относятся широко применяемые в США контейнеры типа MP197HB® и TN-RAM. Данная концепция является частью технологии сухого контейнерного хранения ОЯТ NUHOMS, состоящей из модулей системы промежуточного хранения (ISFSI), в которых топливо находится в горизонтальном положении. После загрузки

с помощью гидроцилиндра их заталкивают в модули хранения. Простая и прочная конструкция блока гарантирует стабильную фиксацию каждого из них внутри модуля [8].

Разработчики отмечают два основных преимущества концепции TN Eagle. Во-первых, это автоматизированный процесс сборки, не предполагающий применения операций сварки и механической обработки, что значительно упрощает сам производственный процесс, повышает качество, производительность и надежность важнейших этапов производства, а также сокращает время, необходимое для изготовления контейнеров. Во-вторых, по сравнению с предыдущим поколением контейнеров двойного назначения данная конструкция включает почти в 10 раз меньше компонентов и оснащена элементами, выполненными из специальной поглощающей нейтроны смолы, обладающей повышенной длительной устойчивостью к высоким температурам.

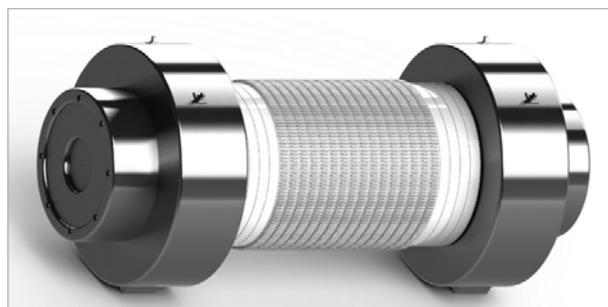


Рис. 8. Макет транспортного комплекта TN Eagle [8]

Строительство завода TN Eagle 4.0 площадью 6600 квадратных метров началось в феврале 2023 года при поддержке инвестиционного фонда France Relance. Предприятие оснащено по последнему слову техники, а сам производственный процесс полностью автоматизирован, что позволяет осуществлять сборку контейнеров с

использованием бесшовной технологии всего за 15 месяцев вместо 40, в среднем необходимых при применении технологий предыдущего поколения. Таким образом, завод TN Eagle сможет производить до 30 контейнеров в год [8].

Литература

1. Test elements used in trial run of Finnish repository, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/test-elements-used-in-trial-run-of-finnish-repository> (дата обращения: 08.10.2024).

2. Environmental permit granted for Swedish repository, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/articles/environmental-permit-granted-for-swedish-repository> (дата обращения: 25.10.2024).

3. Environmental challenge to Konrad repository dismissed, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/environmental-challenge-to-konrad-repository-dismissed> (дата обращения: 19.09.2024).

4. IAEA approves safety of Fukushima soil plans, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/iaea-approves-safety-of-fukushima-soil-plans> (дата обращения: 10.09.2024).

5. Further delay to Japanese reprocessing and MOX plants, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/further-delay-to-japanese-reprocessing-and-mox-pla> (дата обращения: 30.08.2024).

6. Japanese used nuclear fuel store starts operating, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/articles/japanese-used-nuclear-fuel-store-starts-operating> (дата обращения: 06.11.2024).

7. Cleanup milestone for East Tennessee site, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/cleanup-milestone-for-east-tennessee-site> (дата обращения: 02.09.2024).

8. Orano opens new factory in France for innovative casks, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/orano-opens-new-factory-in-france-for-innovative-casks> (дата обращения: 17.10.2024).

Материал подготовили А. С. Баринов, В. Е. Калантаров