

Великобритания

В конце июня 2023 года британская компания Nuclear Waste Services (NWS) заявила о запуске программы исследований в четырех регионах страны, потенциально пригодных для строительства пункта глубинного геологического захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО). Так как в Великобритании процесс поиска площадки для его строительства основывается на принципе общественного согласия, предварительно в округах Аллердейл, Южный Коупленд и Мид Коупленд в графстве Камбрия на северо-западе Англии, а также Теддлторп в графстве Линкольншир на востоке страны были учреждены так называемые общественные партнерства.

В рамках утвержденной процедуры поиска площадки для ПГЗРО эксперты планируют оценить каждый регион в соответствии с целым рядом критериев, в том числе будут проанализированы перспективы обеспечения ядерной и физической безопасности; техническая осуществимость проекта в данной местности; особенности, связанные с геологией, окружающей средой, транспортной доступностью и соотношением предполагаемых затрат и получаемых выгод. В конечном итоге исследования должны продемонстрировать тот факт, что строительство, эксплуатация и закрытие ПГЗРО могут быть реализованы при условии обеспечения необходимого и достаточного уровня безопасности.

К концу сентября 2023 года в ходе проведенных исследований было установлено, что в районе Аллердейл объем вмещающих пород, соответствующих требованиям к созданию ПГЗРО, включая породы прилегающей к нему прибрежной зоны, по всей видимости, окажется недостаточным для обоснования возможности обеспечения долгосрочной безопасности объекта на этапе после его закрытия. По этой причине было принято решение о его исключении из списка потенциально пригодных для строительства ПГЗРО районов.

В то же время результаты предварительных геологических исследований говорят о потенциальной пригодности для этого территорий остальных трех округов. После того как процедура выбора площадки на основании геологических и прочих критериев будет завершена, на что по оценкам экспертов может уйти около 10–15 лет, окончательное решение о возможности сооружения ПГЗРО в конкретной местности будет принято уже на основании результатов исследования уровня одобрения проекта местным населением [1].

Что касается отходов низкого уровня активности (НАО), то в прошлом их размещали в приповерхностных ПЗРО траншейного типа. Один из старейших расположен в графстве Камбрия в Северо-Западной Англии. На протяжении шести десятилетий в ПЗРО вблизи городка Дригг поступали НАО от многих производителей, в том числе АЭС, предприятий оборонного комплекса и промышленности, больниц и исследовательских организаций. Вплоть до 1988 года эксплуатация объекта осуществлялась в соответствии с принципами полигонного захоронения радиоактивных отходов (РАО): их загружали навалом в глиняные траншеи, а сверху засыпали слоями гравия и почвы. Согласно оценкам, в период с 1959 по 1995 год в семи секциях ПЗРО было размещено в общей сложности около 800 000 м³ отходов [2].

Эта практика осуществлялась на протяжении трех десятилетий, пока в 1998 году на смену ей не пришла новая система обращения с РАО, предусматривающая предварительную упаковку направляемых на захоронение НАО в контейнеры и их отверждение методом цементирования. Именно по этому принципу осуществлялась эксплуатация восьмой секции ПЗРО объемом около 200 000 м³.

Изначально, поверх уже закрытых секций ПЗРО, устанавливали лишь временное защитное покрытие, и вот, спустя более чем 60 лет с момента ввода его в эксплуатацию, в ноябре

2023 года на площадке стартовали работы по консервации заполненных отходами и готовых к закрытию камер и траншей ПЗРО (рис. 1). Согласно утвержденному графику, на выполнение этих работ уйдет около 5 лет, а начнутся они с установки новой защитной мембраны над траншеями, которая обеспечит герметичность секций на срок до 100 лет [2].



Рис. 1. Вид сверху на полигон траншейного захоронения НАО на площадке Дригг, графство Камбрия [2]

Финляндия

В Финляндии процесс получения лицензии на эксплуатацию завода по инкапсуляции ОЯТ и ПЗРО, строящегося на площадке в Олкилуото¹ (рис. 2), был запущен еще 30 декабря 2021 года, когда местный оператор по обращению с РАО (компания Posiva) направил материалы заявки на рассмотрение в Министерство экономики и занятости Финляндии. Ожидается, что ввод ПЗРО в эксплуатацию состоится в середине 2020 годов. При этом в документах на получение лицензии указан период эксплуатации с марта 2024 года по конец 2070 года.

Окончательное решение о запуске ПЗРО остается за правительством страны, а для его

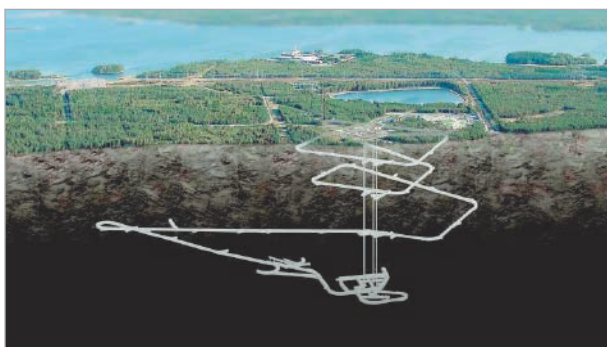


Рис. 2. Эскизный проект финского ПЗРО на площадке в Олкилуото [3]

¹ Лицензия на строительство объекта была выдана регулятором в ноябре 2015 года, строительные работы на площадке стартовали в декабре 2016 года.

принятия необходимо положительное заключение ядерного регулятора STUK, эксперты которого приступили к рассмотрению материалов заявки в мае 2022 года, после предоставления недостающих документов от оператора. Министерство ожидало получить заключение от STUK к концу 2023 года, однако уже к сентябрю стало ясно, что регулятору не удастся уложиться в отведенные сроки [3].

Представители STUK заявляют, что пока сложно судить о сроках завершения процедуры рассмотрения материалов заявки: их объем внушительен, а часть из них требует актуализации. По этой причине скорость изучения документов и подготовки заключения будет зависеть не только от расторопности сотрудников самого ядерного регулятора, но и от того, насколько быстро необходимые материалы будут предоставлены оператором ПЗРО.

Канада

В конце октября 2023 года в муниципалитете Кинкардин (округ Брюс, провинция Онтарио) был введен в эксплуатацию новый комплекс (англ. Western Clean Energy Sorting & Recycling Facility, WCSR) по сортировке и переработке отходов низкого уровня активности (НАО). Всего в Канаде действуют три площадки, на которых осуществляются работы по обращению с РАО и вторичными продуктами ядерного топливного цикла (ЯТЦ), оператором которых выступает компания Nuclear Sustainability Services (NSS). Площадка, на которой была запущена новая установка, осуществляет прием и обращение с материалами низкого и среднего уровня активности, поступающими с АЭС Дарлингтон, Пикеринг и Брюс Пауэр.

На этом сооружении, расположившимся на участке площадью 3 902 м², работает 25 сотрудников компании, занятых сортировкой поступающих материалов (в основном это загрязненные средства индивидуальной защиты (СИЗ) и малогабаритные приборы) с целью выявления пригодных для повторного использования и переработки предметов, что приводит к снижению объемов отходов, а значит, и затрат на проведение работ по выводу из эксплуатации, а также требующегося для их размещения полезного пространства в целях промежуточного хранения и окончательного захоронения РАО и, как следствие, потребности в сооружении новых пунктов консервации [4].

Еще одним важным для Канады событием стало заявление, сделанное представителями компании Moltex в конце октября 2023 года: они

сообщили об успешном завершении очередного этапа испытаний инновационного метода по переработке РАО. Речь идет о технологии WATSS (англ. Waste To Stable Salt — переработка отходов с получением стабильной соли), являющейся составной частью целого комплекса реакторных технологий, разрабатываемых данной организацией. Она может быть внедрена как самостоятельно, так и совместно с другими этапами производства электроэнергии на солевом реакторе (англ. Stable Salt Reactor — Wasteburner, SSR-W). Топливо, используемое в реакторе SSR-W, на две трети состоит из хлорида натрия (поваренной соли) и на одну треть из смеси трихлоридов лантаноидов и актинидов [5].

Согласно имеющимся планам, первые реакторы данного типа будут работать на топливе, полученном в результате переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) обычных реакторов. В других странах, к примеру в Великобритании, в качестве сырья для его производства также могут быть использованы накопленные объемы диоксида плутония, образовавшиеся в результате осуществления PUREX-процесса, разбавленные и преобразованные в хлорид. Таким образом, данная технология открывает новые возможности для повторного использования ОЯТ, обеспечивая преобразование долгоживущих актинидов. Ее принципиальное отличие от уже имеющихся конструкций реакторов, работающих на переработанном ОЯТ, заключается в том, что топливные таблетки для последних могут быть изготовлены лишь из плутония очень высокой степени очистки. В случае SSR уровень загрязнения лантаноидами и актинидами может быть значительным при условии соблюдения требований к ядерной критичности, что значительно упрощает непосредственно саму технологию переработки ОЯТ.

К настоящему времени представители компании Moltex заявили о завершении серии экспериментов с использованием модельного топлива, изготовленного из диоксида урана и оксида церия в соотношении, идентичном обнаруживаемому в ОЯТ. Выбор в пользу оксида церия в качестве аналога трансурановых оксидов был сделан как на основании уже имевшихся данных, так и показателей проведенного термодинамического моделирования. Результаты этих исследований стали основой для экспериментов, реализуемых в настоящее время уже в условиях горячих камер ядерных лабораторий с использованием «настоящего» ОЯТ из реакторов типа CANDU.

На сегодняшний день руководство Moltex также занимается согласованием проекта соглашения

с Канадской комиссией по ядерной безопасности (CNSC) об оказании соответствующих услуг в области переработки ОЯТ. В 2021 году местный регулятор завершил первый этап процедуры предварительной экспертизы проекта реактора SSR-W, предшествующей запуску процесса ее лицензирования, отметив, что уровень готовности проекта «внушает уверенность в его технической осуществимости и экономической рентабельности». Это позволит уделить больше внимания непосредственно вопросам оптимизации технологии WATSS. Согласно имеющимся планам, первая такая установка будет запущена на площадке Пойнт-Лепре в Нью-Брансуике, где к началу 2030-х годов также может появиться и первый SSR-W реактор [5].

Нидерланды

Осенью 2023 года на площадке вблизи городка Ньюдорп, что в муниципалитете Борсселе, началось сооружение многофункционального пункта хранения (ПХ) (англ. Multifunctional Storage Building, MOG) отходов низкого (НАО) и среднего (САО) уровня активности (рис. 3). К концу октября в грунт были установлены все 438 буровых свай, предусмотренных проектом. Ожидается, что строительные работы на площадке будут полностью завершены в 2025 году.



Рис. 3. Первые буровые сваи, установленные на площадке нового ПХ MOG в Борсселе [6]

На хранение в MOG в основном планируют направлять исторические РАО, которые в настоящее время размещаются на территории предприятия NRG в Петтене, занимающегося производством медицинских изотопов. Кроме того, в будущем на данную площадку также планируется доставлять отходы, которые образуются в результате вывода из эксплуатации имеющихся в Нидерландах ядерных установок, так как мощности по хранению и переработке РАО, до сих пор находившиеся в распоряжении Covra (национальный оператор по обращению с

радиоактивными отходами), этим целям не отвечали. Вместимость нового ПХ должна покрыть все потребности страны в области хранения НАО и САО на перспективу до 2050 года.

На площадке MOG также планируется оборудовать зону площадью 2400 м² для переупаковки отходов: здесь будут осуществляться операции по извлечению РАО из транспортных контейнеров и их загрузке в контейнеры для хранения. В будущем эти контейнеры также будут использованы и для окончательного захоронения РАО. Ожидается, что проектный срок службы нового ПХ составит не менее 100 лет, и он сможет принять на хранение не менее 4 000 м³ РАО, причем конструкция MOG спроектирована таким образом, что в дальнейшем его вместимость может быть увеличена [6].

Южная Корея

В ноябре 2023 года компания Doosan Enerbility подписала контракт с оператором всех южнокорейских атомных электростанций Korea Hydro & Nuclear Power на разработку комплексного проекта системы сухого хранения ОЯТ. Согласно положениям контракта, заключенного по итогам международных конкурсных торгов, ее проектирование и сертификацию планируется завершить к 2027 году, включая разработку проекта контейнера для хранения и транспортировки ОЯТ.

Согласно оценкам экспертов, для удовлетворения имеющихся на корейском рынке потребностей понадобится изготовить около 2 800 контейнеров для сухого временного хранения ОЯТ, что в перспективе до 2060 года приведет к росту рынка до 8,4 триллиона вон (6,2 миллиарда долларов США). Непосредственно к этому процессу Doosan Enerbility планирует привлечь около 140 малых и средних компаний-партнеров со всей страны [7].

Это предприятие имеет многолетний опыт работ в данной области. Так, в октябре 2015 года она подписала договор с американской фирмой NAC International по совместному проектированию системы хранения ОЯТ. В 2017 году компания Doosan завершила разработку проекта системы сухого хранения DSS-21, способной обеспечить безопасное хранение и транспортировку до 21 облученной тепловыделяющей сборки (ОТВС). В последствии были также разработаны модели DSS-24 и DSS-32, обладающие большей вместимостью, а также многофункциональный контейнер DPC-24, предназначенный как для перевозки, так и для хранения ОЯТ. В январе 2023 года конструкция металлического

транспортного комплекта для хранения ОЯТ (англ. Metal Storage Overpack, MSO), являющегося совместной разработкой Doosan Enerbility и NAC, была сертифицирована ядерным регулятором США — Комиссией по ядерному регулированию (NRC). Проект MSO-37 был разработан с намерением дальнейшей реализации данного вида контейнеров на международном рынке. В частности, в Корее MSO могут прийти на смену бетонным системам хранения ОЯТ [7].

Doosan стала первой корейской компанией, поставившей контейнеры для хранения ОЯТ в США: в общей сложности на площадку АЭС Три-Майл-Айленд в штате Пенсильвания было доставлено пять комплектов контейнеров для вертикального хранения ОЯТ (рис. 4).



Рис. 4. Процесс изготовления контейнеров для хранения ОЯТ, предназначенных для использования на площадке АЭС Три-Майл-Айленд в США [7]

США

В начале ноября 2023 года топливная компания Orano осуществила загрузку первой партии ОЯТ в верхние модули двухуровневой системы сухого горизонтального хранения NUHOMS MATRIX на площадке АЭС Вулф Крик в штате Канзас (рис. 5).



Рис. 5. Процесс загрузки контейнера с ОЯТ в верхний модуль двухуровневой системы сухого горизонтального хранения NUHOMS MATRIX на площадке АЭС Вулф Крик в штате Канзас [8]

Работы были проведены в рамках контракта, заключенного оператором АЭС с Orano еще в 2018 году, в соответствии с положениями которого последняя взяла на себя ответственность за проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию пункта временного хранения ОЯТ, а также за его передачу из бассейна выдержки, расположенного на территории АЭС, в новый ПХ. Специалисты Orano отмечают, что двухъярусная система горизонтального хранения, введенная в эксплуатацию на площадке АЭС Вулф-Крик, позволяет осуществлять более компактное хранение ОЯТ при сокращении требуемой для этих целей площади на целых 45% по сравнению с системой его независимого хранения (ISFSI), способной вместить такое же количество контейнеров.

На перемещение первой партии ОЯТ из бассейна-хранилища в новый ПХ у команды специалистов из Orano и сотрудников АЭС ушло три недели. Она состояла из трех пеналов 37 РТН для «продленного оптимизированного хранения» (англ. Extended Optimized Storage EOS), каждый из которых был заполнен 37 ОТВС, извлеченными из бассейна, а затем установлен в верхние модули системы MATRIX. Все операции были предварительно отработаны на ее полномасштабном макете, воссозданном на площадке в Кернерсвилле (Северная Каролина), где также расположен завод Orano TN Fabrication, изготовивший восемь пеналов типа EOS 37РТН, а затем и на самой площадке АЭС, но без ОЯТ.

На рис. 6 показаны операции по перемещению топлива из бассейна-хранилища. Слева на фото — перегрузочный контейнер с пеналом EOS 37РТН опускается в приреакторный бассейн выдержки. В него под водой загружают ОТВС. Перед его герметизацией и передачей на сухое модульное хранение вся влага из его внутренней емкости должна быть удалена. Справа на рис. 6: пеналы с ОЯТ, размещенные внутри защитного контейнера, в процессе транспортировки из



Рис. 6. Этапы передачи ОЯТ на хранение в модульной системе MATRIX [8]

реакторного здания АЭС Вулф-Крик к установке MATRIX с помощью самоходного моторизованного транспортера SEFIRO.

С учетом пяти пеналов, загруженных в модули нижнего уровня системы еще в 2022 году, из 11 модулей ПХ к настоящему времени ОЯТ заполнены 8. Передача на хранение следующих партий топлива планируется уже после завершения работ по сооружению дополнительных модулей хранилища, которые стартуют весной 2024 года.

Еще одним важным событием для компании Orano стало получение лицензии от ядерного регулятора США (англ. Nuclear Regulatory Commission, NRC) на транспортный комплект TN Eagle (рис. 7), являющийся совместной разработкой команды американских и французских инженеров, перед которыми, в рамках запущенного в 2018 году проекта, была поставлена задача создания контейнеров, предназначенных одновременно и для перевозки, и для хранения твэлов как без оболочки, так и в герметичных упаковках, которые благодаря своей конкурентной цене и эксплуатационным характеристикам позволили бы Orano повысить спрос на свою продукцию на европейском, американском и азиатском рынках [9].

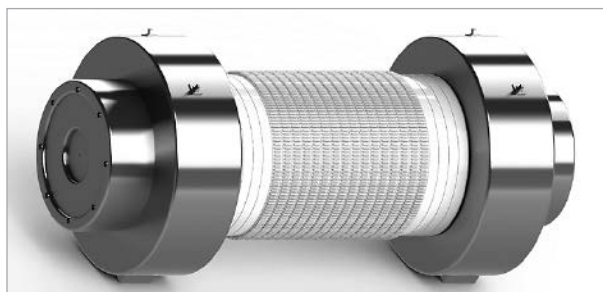


Рис. 7. Макет транспортного комплекта TN Eagle [9]

По сути, TN Eagle — это новое поколение транспортных комплектов типа В, к которым также относятся широко применяемые в США контейнеры MP197HB® и TN-RAM. Данная концепция является частью технологии сухого контейнерного хранения ОЯТ NUHOMS, состоящей из модулей системы промежуточного хранения (ISFSI), в которых топливо располагается в горизонтальном положении. После загрузки упаковок с ОЯТ, их с помощью гидроцилиндра заталкивают в модули хранения. Простая и прочная конструкция блока гарантирует стабильную фиксацию каждого контейнера внутри модуля (рис. 8).

Разработчики отмечают два основных преимущества концепции TN Eagle. Во-первых,



Рис. 8. Система модульного хранения ОЯТ NUHOMS и контейнер TN Eagle [10]

это автоматизированная процедура сборки, не предполагающая применения операций сварки и механической обработки, что значительно упрощает сам производственный процесс, повышает качество, производительность и надежность важнейших этапов его реализации, а также сокращает время, необходимое для изготовления контейнеров. Во-вторых, по сравнению с предыдущим поколением упаковок двойного назначения, конструкция TN Eagle содержит почти в 10 раз меньше компонентов и оснащена элементами, выполненными из специальной поглощающей нейтроны смолы, обладающей повышенной длительной устойчивостью к высоким температурам [10].

TN Eagle получила лицензию на осуществление транспортировки ОЯТ во Франции еще в 2020 году. В 2023 году аналогичная лицензия была выдана американским ядерным регулятором. В феврале 2023 года, при поддержке инвестиционного фонда France Relance, в порту Шербур во Франции началось строительство нового завода по производству контейнеров TN Eagle 4.0. Ожидается, что ввод его в эксплуатацию состоится в 2024 году.

Литература

1. Cumbrian community exits repository site search, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Cumbrian-community-exits-repository-site-search> (дата обращения: 28.09.2023).

2. Work starts to permanently secure UK nuclear waste vaults, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/NWS> (дата обращения: 13.11.2023).

3. Completion of Finnish repository review delayed, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Cumbrian-community-exits-repository-site-search> (дата обращения: 28.09.2023).

4. Low-level waste recycling facility opens in Ontario, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Cumbrian-community-exits-repository-site-search> (дата обращения: 25.10.2023).

5. Moltex announces waste recycling breakthrough, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Moltex-announces-waste-recycling-breakthrough> (дата обращения: 30.10.2023).

6. Construction under way of new Dutch radwaste facility, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Construction-under-way-of-new-Dutch-radwaste-facil> (дата обращения: 31.10.2023).

7. Doosan Enerbility to design used fuel storage system, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Construction-under-way-of-new-Dutch-radwaste-facil> (дата обращения: 06.11.2023).

8. Orano two-tier dry storage system in loading 'first', Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Orano-two-tier-dry-storage-system-in-loading-first> (дата обращения: 07.11.2023).

9. Orano packaging model receives US approval, Nuclear World News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Orano-packaging-model-receives-US-approval> (дата обращения: 28.11.2023).

10. The New TN EAGLE Transport Cask, URL: <https://www.orano.group/usa/en/our-portfolio-expertise/products-services/orano-white-papers/the-new-tn-eagle-transport-cask> (дата обращения: 28.11.2023).

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