Нидерланды

В августе 2022 года Центральная организация по обращению с радиоактивными отходами (Covra) обратилась к ядерному регулятору страны с просьбой о внесении соответствующих изменений в условия действия лицензии, которые позволили бы ей начать строительство нового многофункционального пункта хранения (ПХ) для отходов низкого и среднего уровня активности (MOG). В качестве места для строительства нового объекта была выбрана площадка в Ньивдорпе, расположенная в муниципалитете Борселе. Необходимые изменения должны быть внесены в условия действия лицензии согласно положениям национального законодательства, а именно Закона о ядерной энергии.

Впервые о планах по созданию объекта MOG Covra объявила в марте 2021 года: в ПХ планируется разместить исторические радиоактивные отходы (РАО), в настоящее время хранящиеся на территории предприятия по производству медицинских изотопов NRG в Петтене. Кроме того, в MOG предполагается размещать РАО от вывода из эксплуатации (ВЭ) ядерных установок. Проектной вместимости ПХ MOG должно хватить для размещения всего объема отходов, который, согласно прогнозам, образуется до 2050 года (рис. 1).

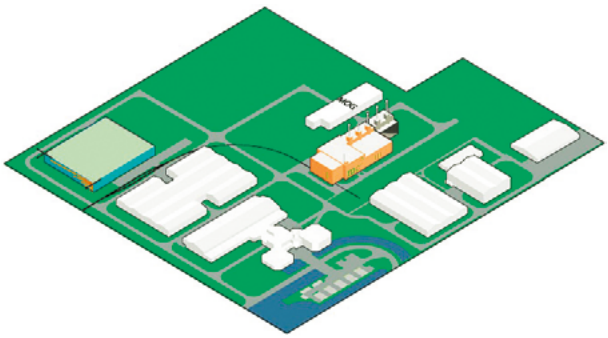

Рис. 1. Уже имеющиеся на площадке Covra здания и сооружения и место предполагаемого строительства ПХ MOG [1]

Под строительство нового комплекса отведен участок площадью 2 400 м^2. На этой территории также будет располагаться станция переупаковки РАО, где упаковки с отходами будут выгружать из транспортных контейнеров и помещать в специальные контейнеры для хранения. Эти штабелируемые упаковки в дальнейшем также планируется использовать для окончательного захоронения РАО. Кроме того, объект будет принимать на хранение и те отходы, которые в будущем, возможно, потребуется переработать и переупаковать с целью их дальнейшего захоронения. Согласно проекту срок службы нового ПХ — не менее 100 лет, а его проектная вместимость составит около 4 000 м^3 РАО. Кроме того, проект в перспективе предусматривает возможность увеличения вместимости объекта.

В начале августа 2022 года Covra представила на рассмотрение Управления по ядерной безопасности и радиационной защите (ANVS) все необходимые документы, включая оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС) и дополнительные материалы к отчету по безопасности. Предварительно ANVS выдало Covra рекомендации относительно необходимого объема и уровня детализации данных, представляемых в рамках ОВОС.

В середине августа ANVS приступило к рассмотрению материалов, подготовленных Covra, с целью оценки достаточности содержащейся в них информации. Спустя несколько недель оно опубликовало так называемый проект разрешения для проведения общественных слушаний. В течение следующих шести недель после его публикации любой желающий мог направить на рассмотрение ANVS свои замечания и комментарии по вопросу строительства, которые Управление тщательным образом изучило и должно учесть при принятии решения о возможности выдачи разрешения на строительство объекта и при определении тех условий, которые должны быть соблюдены оператором ПХ с точки зрения обеспечения безопасности человека и окружающей среды.

Следующим шагом для Covra станет подача заявки на получение разрешения на выполнение строительных работ от муниципалитета

Борселе. В случае положительного решения Covra объявит тендер на их проведение. Согласно текущим планам они должны завершиться в 2025 году.

Швеция

В соответствии с положениями национального законодательства Швеции все расходы в рамках реализации ядерной программы, включая затраты на вывод из эксплуатации (ВЭ), демонтаж атомных электростанций (АЭС), а также переработку и окончательное захоронение радиоактивных отходов (РАО) и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), несут операторы шведских АЭС. От имени операторов АЭС компания SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) должна раз в три года направлять в Управление государственного долга Швеции отчетность с прогнозными данными по объемам будущих затрат. Управление, в свою очередь, отвечает за наличие необходимых денежных средств у ядерной отрасли и ведет контроль за надлежащим функционированием системы финансирования.

С момента публикации последнего отчета SKB в 2019 году было пройдено несколько важных вех на пути создания пункта глубинного геологического захоронения ОЯТ в Швеции (положительное решение регулятора по вопросу строительства пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) и завода по инкапсуляции ОЯТ было получено в январе 2022 года) и реализации проекта по увеличению проектной вместимости уже существующего ПХ SFR для низко- и среднеактивных отходов (НАО и САО) (рис. 2).

Рис. 2. ПХ SFR для низко- и среднеактивных отходов (Швеция) [2]

Эти важные решения обеспечили возможность формирования более точных прогнозов относительно сроков реализации проектов (у правительства ушло больше времени на принятие окончательного решения о строительстве ПГЗРО, соответственно, сдвинулись и графики выполнения программы) и сопутствующих затрат. Так, согласно последним оценкам SKB, для завершения всех работ, предусмотренных в рамках национальной программы по обращению с ОЯТ и РАО, понадобится потратить около 124,1 млрд шведских крон (11,13 млрд долларов США). В материалах, представленных SKB в 2019 году, эти затраты оценивались в 110,0 млрд шведских крон.

Управление государственного долга Швеции проанализирует материалы, предоставленные SKB, и, основываясь на этих данных, определит размер обязательных отчислений операторов АЭС в Фонд ядерных отходов. По состоянию на конец августа 2022 года на его счетах находилось около 73 млрд шведских крон. Недостающая сумма будет покрыта частично за счет отчислений, которые продолжат регулярно вносить операторы АЭС, а также благодаря доходности Фонда.

Представители SKB отмечают, что к настоящему времени около 64 млрд шведских крон уже было инвестировано в проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), а также в строительство и эксплуатацию пункта централизованного промежуточного хранения ОЯТ Clab, ПХ SFR и транспортной системы SKB.

Рис. 3. Новый пункт промежуточного хранения НАО и САО в Студсвике (Швеция) [3]

Еще одним важным событием для атомной энергетики Швеции стало открытие в ноябре 2022 года нового пункта промежуточного хранения НАО и САО в Студсвике недалеко от Нючёпинга (рис. 3). В первую очередь на площадку нового ПХ будут поступать отходы, образующиеся от вывода из эксплуатации единственного блока АЭС Огеста, расположенного неподалеку от Стокгольма, находившегося в эксплуатации в период с 1964 по 1974 год, и исследовательского реактора R2 в Студсвике, где в период с 1960 по 2005 год был проведен ряд важных испытаний. Здание ПХ шириной около 27 м, длиной 90 м и высотой 20 м сможет вместить до 10 000 м^3

отходов. Опорная плита фундамента толщиной 90 см укреплена 482 арматурными стержнями из стали, закрепленными внутри коренных пород. Оператором объекта стала дочерняя компания Vattenfall — SVAFO.

ПХ стоимостью 141 млн шведских крон (13 млн долларов США) был построен за два года. Представители компании Vattenfall отмечают, что в целом график работ был соблюден при экономии порядка 30 млн шведских крон. Ввод объекта в эксплуатацию состоялся в ноябре 2022 года после проведения всех необходимых пусконаладочных работ и испытаний.

Ожидается, что НАО и САО от ВЭ блока АЭС и исследовательского реактора будут храниться на площадке нового ПХ, а затем их передадут на окончательную утилизацию в пункте захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) (Форсмарк) сразу после открытия новых секций этого объекта. Что касается ВАО, которые также образуются в ходе проведения работ по ВЭ этих двух объектов, то их планируется поместить в пункт промежуточного хранения РАО Clab вблизи Оскарсхамна.

Рис. 4. Сборка ОТВС на стеллаже внутри сушильной камеры [4]

Финляндия

В ноябре 2022 года на площадке готовящегося к запуску завода по инкапсуляции ОЯТ вблизи АЭС Олкилуото была введена в эксплуатацию система сушки ОТВС (рис. 4). Выполнение этой операции необходимо перед их загрузкой в медные контейнеры, предназначенные для окончательного захоронения топлива, с точки зрения обеспечения долгосрочной безопасности которого важнейшим этапом так называемого процесса инкапсуляции ОЯТ является сушка.

За реализацию данного проекта, запущенного в апреле 2020 года, отвечала компания Platom Oy. В октябре 2022 года проектными группами Posiva и Platom были успешно выполнены все приемочные работы на площадке завода. Руководитель проекта Маркус Форсберг отметил, что «испытания прошли гладко, и системы сушки отвечают всем заявленным требованиям». Достаточно трудоемким оказался непосредственно процесс получения лицензии на эксплуатацию системы, так как она должна отвечать требованиям финского национального руководства по ядерной безопасности, относящимся сразу к нескольким областям техники, а сама система включает элементы, отличающиеся по классу безопасности.

Завод по инкапсуляции ОЯТ является неотъемлемой частью целого комплекса объектов по обеспечению окончательного захоронения ОЯТ в Финляндии. После ввода ПГЗРО в эксплуатацию ядерное топливо будут доставлять из пунктов временного хранения на площадку завода по инкапсуляции: ОЯТ упакуют в канистры из меди со вставками из чугуна с шаровидным графитом, предназначенные для окончательного захоронения ОЯТ. Оттуда их транспортируют в подземные тоннели пункта захоронения, расположенные на глубине 400—450 метров, в полу которых пробурят скважины, предназначенные непосредственно для размещения канистр с ОЯТ. Согласно текущим планам, ПГЗРО должны ввести в эксплуатацию в 2023 году, а компании Posiva все еще предстоит получить отдельную лицензию на использование этого объекта.

Южная Корея

Впервые процедура выбора площадки для строительства пункта захоронения НАО и САО[1] в Южной Корее стоимостью 1,56 трлн южнокорейских вон (1,5 млрд долларов США) была запущена в 1986 году, спустя восемь лет после

[1] НАО обычно представляют собой ветошь, отработанные фильтры и оборудование, использовавшиеся на ядерных объектах. Чаще всего такие НАО помещают в бочки, а затем подвергают прессованию. САО по большей части представлены отработавшими ионообменными смолами, шламом, образовавшимся в ходе химической обработки, и металлическими оболочками ТВЭЛов, характеризующимися более высоким уровнем радиоактивности и, соответственно, требующими обеспечения более высокой степени экранирования от излучения.

ввода в эксплуатацию первого в стране ядерного энергетического реактора — блока АЭС Кори. Спустя 20 лет были начаты работы по сооружению объектов ПЗРО первой очереди в Кёнджу. Они завершились в июне 2014 года сооружением шести подземных камер захоронения глубиной 40 метров и диаметром около 24 метров, их суммарная вместимость составляет около 100 000 бочек с САО. В декабре 2014 года Комиссия по ядерной безопасности (NSSC) выдала разрешение оператору на промышленную эксплуатацию первой очереди объектов ПЗРО: на площадку были доставлены 16 упаковок САО в бетонном контейнере, предназначенном для окончательного захоронения, который был размещен в одной из камер в июле 2015 года.

В 2015 году Корейское агентство по радиоактивным отходам (KORAD) направило на рассмотрение ядерного регулятора заявку на получение разрешения на строительство объектов второй очереди ПЗРО, включая мощности для приповерхностного захоронения, способные вместить около 1 250 000 двухсотлитровых бочек с НАО. Объекты планируется расположить на территории площадью около 1 250 000 м^2, а их стоимость оценивается приблизительно в 262,1 млрд вон (195 млн долларов США).

Разрешение на строительство объектов второй очереди ПЗРО в Кёнджу было получено от Министерства торговли, промышленности и энергетики (MOTIE) в июле 2016 года. В июле 2022 года аналогичное разрешение выдал ядерный регулятор NSSC. 26 августа 2022 года состоялась церемония закладки фундамента объекта, на которой присутствовал министр торговли, промышленности и энергетики Ли Чан Ян, а также представители компаний Korea Hydro & Nuclear Power, KEPCO E&C и Daewoo E&C (рис. 5). Ожидается, что ввод в эксплуатацию второй очереди ПЗРО состоится уже в 2024 году.

Рис. 5. Делегация специалистов внутри объекта ПЗРО в Кёнджу [5]

США

В начале октября 2022 года на площадке Хэнфордского ядерного комплекса в штате Вашингтон была запущена первая из двух 300-тонных плавильных установок, предназначенных для остекловывания НАО и химических отходов с целью получения матрицы РАО, пригодной для дальнейшего окончательного захоронения. На прогрев установки до рабочей температуры плавления в 1 149 °C ушло несколько недель (рис. 6). После завершения этого процесса первая плавильная установка какое-то время продолжит работать, принимая на переплавку лишь нерадиоактивные материалы. Опыт, полученный на этом этапе, планируется использовать при проработке программы ввода в эксплуатацию второй плавильной установки. Ожидается, что первая установка продолжит работать в непрерывном режиме в течение следующих пяти лет.

Рис. 6. Временные пусковые нагреватели, установленные в верхней части плавильной печи в Хэнфорде [6]

Новые плавильные установки были размещены в самом сердце завода по переработке и отверждению отходов (англ. Waste Treatment and Immobilisation Plant, WTP) в Хэнфорде, разработкой проекта, строительством и вводом в эксплуатацию которого занимаются специалисты компании Bechtel в рамках контракта, заключенного с Министерством энергетики США (DOE). WTP должен стать крупнейшим в мире предприятием по утилизации РАО: DOE была поставлена задача перерабатывать и кондиционировать бóльшую часть из 56 млн галлонов (212 000 м^3) радиоактивных и химических отходов, образовавшихся в результате четырех десятилетий эксплуатации ядерных установок по производству оружейного плутония на территории Хэнфордского ядерного комплекса.

Согласно планам DOE, непосредственно к выполнению работ по отверждению отходов

предприятие должно приступить до конца 2023 года. Завершить все работы по остекловыванию отходов планируется в течение нескольких десятилетий: по самым оптимистическим прогнозам это будет выполнено не раньше 2069 года. Захоронение уже остеклованных отходов будет осуществляться непосредственно на территории самого Хэнфордского комплекса в специально отведенном для этих целей ПЗРО (англ. Integrated Disposal Facility).

Австралия

В октябре 2022 года Австралийская организация по ядерной науке и технологиям (ANSTO) завершила строительные работы на площадке установки Synroc, ввод в эксплуатацию которой должен состояться в 2025 году. Сейчас внутри объекта осуществляется монтаж и размещение необходимого технологического оборудования и систем (рис. 7). Установка предназначена для переработки среднеактивных жидких отходов, образующихся в результате выделения медицинского изотопа молибдена-99 на реакторе Лукас-Хайтс, расположенном неподалеку от Сиднея.

Рис. 7. Опытно-промышленная установка Synroc [7]

Synroc (сокращение от английского synthetic rock или «синтетическая порода[2]») — это инновационная австралийская технология, позволяющая обеспечить безопасное хранение средне- и высокоактивных отходов сложного состава, разработанная специалистами ANSTO. Основана она на знаниях о кристаллических или минеральных фазах, которые смогли на протяжении сотен миллионов лет сохраниться в естественных геологических средах в условиях воздействия повышенных температур и воды. Изначально данная технология создавалась с целью решения проблемы захоронения высокоактивных РАО, образовавшихся на установках военного назначения в США. Однако впоследствии ее предложили использовать при обращении с РАО и от гражданских объектов.

Технология, разработанная специалистами ANSTO, обеспечивает получение матрицы РАО желаемого химического состава, применима в отношении широкого спектра типов отходов и позволяет добиться их соответствия международным требованиям по обеспечению долгосрочной безопасности при обращении с РАО. Использование данной технологии также позволяет значительным образом сократить объемы отходов, подлежащих захоронению, а следовательно, снизить сопутствующие затраты на обращение с ними.

При осуществлении переработки РАО по методу Synroc жидкие радиоактивные отходы сначала смешивают со специальными добавками, образующими суспензию, затем высушивают до получения сыпучего гранулированного порошка, который подвергается термической обработке, после чего его разливают по бочкам. Их герметизируют и помещают в печь, находящуюся внутри установки для горячего изостатического прессования РАО (HIP). В таких условиях порошкообразная смесь переходит в твердую форму, причем сам процесс не сопровождается какими бы то ни было выбросами загрязняющих веществ. Бочки прессуют до получения цилиндрической формы и отправляют на хранение.

На протяжении последних пяти лет эта методика отрабатывалась и испытывалась с использованием полномасштабной демонстрационной установки Synroc. Опыт ее эксплуатации, по словам специалистов ANSTO, подтвердил возможность «безопасной и эффективной переработки отходов с помощью данной технологии, которая позволяет получить матрицу РАО, пригодную для окончательного захоронения».

Швейцария

В сентябре 2022 года, спустя 14 лет, прошедших с момента запуска программы по поиску площадки для строительства пункта глубинного геологического захоронения ОЯТ, НАО и САО в Швейцарии, предпочтение было отдано региону

[2] Synroc состоит из таких минералов, как пирохлор и криптомелан. Первоначальный вариант Synroc (Synroc C) был разработан с целью отверждения жидких РАО (рафинатов пурекс-процесса), образующихся в результате эксплуатации легководяных реакторов. Главными составляющими этого вещества являются голландит ($BaAl_2Ti_6O_{16}$), цирконолит ($CaZrTi_2O_7$) и перовскит ($CaTiO_3$). Цирконолит и перовскит связывают актиноиды, перовскит нейтрализует стронций и барий, голландит — цезий.

Нёрдлих-Легерн, находящемуся на севере страны (рис. 8), а завод по инкапсуляции ОЯТ было предложено построить на площадке уже существующего пункта временного хранения в Цвилаге.

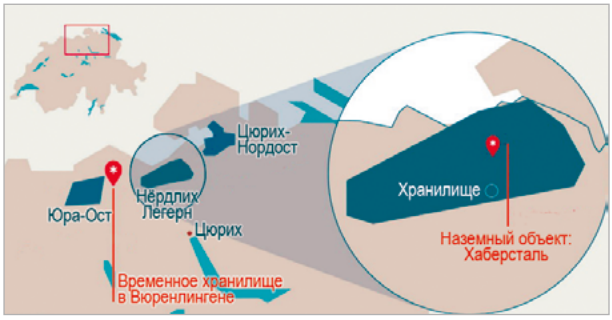

Рис. 8. Месторасположение региона Нёрдлих-Легерн на карте Швейцарии, где планируется построить пункт глубинного геологического захоронения ОЯТ [8]

Регион Нёрдлих-Легерн был одним из шести, представленных в качестве кандидата для строительства ПЗРО в ноябре 2011 года в ходе первого этапа работ по поиску площадок для размещения двух ПЗРО (одного — для НАО/САО, другого — для ОЯТ), стартовавшего еще в 2008 году.

На втором этапе процесса, запущенного в 2012 году, количество потенциальных регионов должно было сократиться до двух для каждого типа ПЗРО. Решение принималось с учетом результатов предварительных оценок безопасности и сопоставления площадок по различным критериям, связанным с обеспечением безопасности захоронения, а также на основании анализа социально-экономических факторов и реализованной кампании по привлечению общественности к процессу принятия решений.

В январе 2015 года Nagra (Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами) предложил провести дальнейшие исследования в предполагаемых регионах Цюриха Нордост и Юра Ост на третьем и последнем этапе процесса отбора площадок, а остальные четыре региона — Зюдранден, Нёрдлих-Легерн, Юра-Зюдфус и Велленберг — было решено рассматривать в качестве резервных вариантов. Однако в декабре 2016 года Швейцарская федеральная инспекция по ядерной безопасности (ENSI) предложила регион Нёрдлих-Легерн для включения в итоговый перечень финального этапа поиска площадки для строительства ПЗРО, а после завершения второго этапа процесса на заседании, состоявшемся в ноябре 2018 года, — о включении его в список потенциальных кандидатов для строительства ПГЗРО с целью проведения дальнейших исследований.

В итоге оператор Nagra предложил разместить в Нёрдлих-Легерн комплекс, в который бы входил ПГЗРО сразу для всех типов РАО. Для строительства наземного комплекса его объектов был выбран район Хабersталь, расположенный в муниципалитете Штадель вблизи Цюриха (рис. 9).

Рис. 9. Внешний вид наземного комплекса объектов, относящихся к ПГЗРО [8]

Согласно результатам исследований, проведенных под руководством Nagra, безопасность глубинного геологического захоронения ОЯТ и РАО может быть обеспечена при условии строительства объекта в любом из трех регионов — Юра-Ост, Нёрдлих-Легерн и Цюрих-Нордост. Вместе с тем опалиновые глиняные формации, обнаруженные в Нёрдлих-Легерн, способны надежнее изолировать РАО при обеспечении более высокого уровня стабильности слоев горных пород и гибкости проектирования объектов по сравнению с районами Юра-Ост и Цюрих-Нордост.

Кроме того, компания Nagra также приняла решение о строительстве завода по инкапсуляции ОЯТ не на самой площадке будущего ПГЗРО, а на территории уже существующего пункта временного хранения Цвилаг в Вюренлингене (кантон Аргау), неподалеку от института Пауля Шеррера. Именно там, в пункте временного хранения на АЭС Безнау (Цвибез), в настоящее время размещена наибольшая часть швейцарских ВАО.

К 2024 году Nagra планирует подать заявку на получение генеральной лицензии на строительство ПГЗРО для ОЯТ и РАО с предполагаемым завершением данной процедуры к 2030 году. Затем будет проведен национальный референдум, и в случае положительного решения ввод в эксплуатацию швейцарского ПГЗРО может состояться в 2060 году.

Литература

1. Covra seeks permit change for new waste storage facility facility, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/Covra-seeks-permit-change-for-new-waste-storage-fa?feed=feed (дата обращения: 12.08.2022).
2. SKB revises cost of Swedish nuclear waste programme, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/SKB-revises-cost-of-Swedish-nuclear-waste-programm?feed=feed (дата обращения: 03.10.2022).
3. Swedish interim radwaste storage facility opens, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/Swedish-interim-radwaste-storage-facility-opens (дата обращения: 08.11.2022).
4. Fuel drying system at Finnish encapsulation plant commissioned, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/Fuel-drying-system-at-Finnish-encapsulation-plant?feed=feed (дата обращения: 17.11.2022).
5. Expansion of South Korean waste repository begins, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/Expansion-of-South-Korean-waste-repository-begins?feed=feed (дата обращения: 31.08.2022).
6. Heating begins at Hanford radioactive waste treatment plant, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/Heating-begins-at-Hanford-radioactive-waste-treatm?feed=feed (дата обращения: 13.10.2022).
7. Equipment being installed in ANSTO's Synroc radioactive waste processing facility, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/Equipment-being-installed-in-ANSTO-s-Synroc-radioa?feed=feed (дата обращения: 20.10.2022).
8. Site proposed for Swiss repository, World Nuclear News, URL: https://world-nuclear-news.org/Articles/Site-proposed-for-Swiss-repository?feed=feed (дата обращения: 12.09.2022).

Обзор подготовила Н. С. Цебаковская