

Финляндия

В начале января 2022 года Министерство экономики и занятости Финляндии (ТЕМ) приступило к рассмотрению материалов заявки, направленной 30 декабря 2021 года финским оператором по обращению с радиоактивными отходами (РАО) Posiva Oy, на получение лицензии на эксплуатацию завода по инкапсуляции и пункта окончательного захоронения ОЯТ, в настоящее время находящихся на этапе строительства вблизи АЭС Олкилуото. В заявке указывается, что данные объекты будут находиться в эксплуатации с марта 2024 года и до конца 2070 года [1].

Строительство завода по инкапсуляции началось в сентябре 2019 года и должно быть завершено в середине 2022 года. Упаковки с ОЯТ планируются разместить на глубине 400–430 метров. Система барьеров безопасности включает в себя герметичные упаковки из меди и стали (согласно проекту, разработанному Posiva), окружающий их буфер из бентонита, материал засыпки тоннеля, содержащий набухающую глину, герметизирующие конструкции тоннелей и помещений и вмещающую породу.

В материалах заявки на получение лицензии указывается, что большая часть ОЯТ, принадлежащего компаниям Teollisuuden Voima Oyj (TVO) и Fortum Power & Heat Oy, которыми и была учреждена компания Posiva Oy, подлежит окончательной изоляции в ПГЗРО в период с 2024 по 2070 год. В соответствии с текущими планами по эксплуатации объектов атомной энергетики страны, работы по захоронению всего объема ОЯТ, за окончательную изоляцию которого несут ответственность TVO и Fortum, будут завершены к концу 2120-х годов.

В течение года Министерство экономики планирует организовать общественные консультации по материалам заявки. Затем ряд органов государственной власти и учреждений, а также местные власти муниципалитетов, находящихся в непосредственной близости от строящихся объектов, подготовят и направят ТЕМ соответствующие требования по результатам рассмотрения материалов заявки. Широкая

общественность также получит возможность направить замечания и поделиться своим мнением по данному вопросу. Все полученные заявления будут рассмотрены ТЕМ и учтены при принятии итогового решения.

Кроме того, ТЕМ обратилось к финскому ядерному регулятору STUK, который будет осуществлять надзор за эксплуатацией и техническим обслуживанием завода по инкапсуляции и пункта захоронения ОЯТ в течение всего срока их службы, с просьбой о проведении экспертизы безопасности обеих установок и подготовке соответствующего заключения. Данная процедура позволит убедиться в том, что оба объекта были построены в соответствии заявленным проектом и в целом возможна их безопасная эксплуатация, а персонал получил соответствующие необходимые и достаточные знания в этой области. Кроме этого, эксперты STUK должны оценить возможность обеспечения безопасности захоронения ОЯТ в долгосрочной перспективе [1].

Германия

В январе 2022 года Немецкий федеральный оператор по захоронению радиоактивных отходов (BGE) объявил о заключении контракта на создание проекта завода по переработке отходов и пункта временного хранения РАО, который планируется разместить на территории бывшей соляной шахты Asse II (рис. 1) в районе Вольфенбюттель, Нижняя Саксония.

Предусматривается создание и размещение на площадке наземных объектов и систем, которые бы позволили безопасным образом осуществить необходимые работы по обращению с подлежащими извлечению из шахты 100 000 м³ низкоактивных (НАО) и среднеактивных (САО) радиоактивных отходов (соответствующий план был представлен BGE еще в апреле 2020 года)¹. Общий объем

¹ В период с 1967 по 1978 год по поручению федерального правительства десятки кубических метров РАО, преимущественно низкого уровня активности, были размещены в шахте Asse II. Однако впоследствии была доказана невозможность обеспечения безопасного хранения отходов на данном объекте, и с 2013 года их извлечение из Asse II было разрешено законом.



Рис. 1. Площадка бывшей соляной шахты Asse II, подземные выработки которой в прошлом использовались для захоронения РАО низкого и среднего уровней активности [2]



Рис. 2. ПХ РАО Майшягала, расположенный в 40 км от столицы Литвы (г. Вильнюс)

кондиционированных РАО, подлежащих отправке в новый пункт временного хранения, специалистами оценивается примерно в 200 000 м³. Именно этот объем РАО заявлен в контракте. Согласно текущим планам, на данной площадке будут перерабатываться и временно храниться исключительно отходы, извлекаемые из шахты Asse II.

В соответствии с положениями контракта, заключенного 20 декабря 2021 года, консорциум-победитель, в состав которого входят компании Uniper Anlagenservice GmbH, Uniper Technologies GmbH и Brenk Systemplanung GmbH, приступил к разработке соответствующих планов строительства и эксплуатации необходимых объектов и систем, «принимая во внимание все юридические и эксплуатационные требования». Итогом этой работы должна стать подготовка эскизного проекта завода по переработке отходов и пункта временного хранения РАО, включая внутренние помещения, наружные объекты, инженерные сооружения и транспортные системы. В том числе должны быть разработаны предварительные проекты конструкций и технического оборудования для возведения защитной зоны, определения характеристик РАО, их кондиционирования и временного хранения, а также выполнена предварительная оценка безопасности. Данный этап проекта должен завершиться до конца 2023 года. Ожидается, что сами работы по извлечению отходов из Asse II стартуют спустя 10 лет — в 2033 году.

Литва

В начале 2022 года Литва объявила тендер на проведение работ по выводу из эксплуатации старого пункта хранения (ПХ) РАО Майшягала (рис. 2) и окончательной изоляции размещенных в нем отходов. Этот ПХ РАО представляет

собой приповерхностное бетонное хранилище с полезным объемом 200 м³, размещенное на глубине трех метров ниже поверхности земли. Оно было построено еще в 1963 году и до 1989 года принимало на хранение РАО, образовывавшиеся в результате использования радиоактивных веществ в промышленных, научных и медицинских организациях, располагавшихся на территории Калининградской и Гродненской областей, а также Литовской ССР. Размещаемые в ПХ РАО относятся к категории низко- и среднеактивных, содержащих преимущественно короткоживущие радионуклиды, и не подвергались предварительной сортировке [3].

В 1989 году ПХ РАО прекратил прием отходов в связи с несоответствием современным требованиям безопасности, и было принято решение о его выводе из эксплуатации. К тому времени хранилище было заполнено почти на 60%: в нем находилось около 120 м³ РАО. В ходе проведения работ по ВЭ свободные от отходов отсеки ПХ были засыпаны песком. Над ним было создано многослойное изолирующее покрытие из битума, асфальта и толстого слоя земли. Позднее конструкция ПХ РАО была дополнена гидроизоляционными барьерами, установленными в 2006 году.

Сотрудники Игналинской АЭС отмечают, что результаты мониторинга, проводимого на площадке ПХ РАО, свидетельствуют о том, что «некоторое количество трития попадает в воду скважин, пробуренных рядом с хранилищем», хотя «количество трития и не превышает допустимых уровней», а сам тритий «не попадает в ближайшие водоемы и колодцы, используемые местным населением». Все же, согласно выводам экспертов, такие результаты свидетельствуют о «необходимости укрепления барьеров безопасности ПХ РАО». Кроме того, согласно современным требованиям обеспечения

безопасности захоронения РАО, каждый вид отходов должен быть упакован в контейнер надлежащего типа в соответствии с активностью РАО и сроком службы самого контейнера. Причем каждый вид РАО должен быть захоронен в отдельной, предназначенной именно для него установке. Выполнение этих требований в отношении ПХ РАО Майшягала и является целью реализации проекта стоимостью 4 миллиона евро (4,5 миллиона долларов США), финансируемого из средств Фонда единения и Структурных фондов Европейского Союза [3].

Извлеченные из ПХ Майшягала отходы планируется доставить на площадку Игналинской АЭС, где их разместят в ПХ РАО, предназначенных для РАО, образующихся в ходе вывода из эксплуатации самой АЭС.

Победитель тендера, выбранный руководством Игналинской АЭС, займется проведением работ по установке и возведению временных мобильных конструкций над ПХ РАО Майшягала, включая обеспечение функционирования систем энергоснабжения, вентиляции и радиационного контроля. Также исполнитель должен предоставить все необходимое оборудование и провести пуско-наладочные работы. Лицензия на вывод из эксплуатации ПХ РАО была получена Игналинской АЭС еще в 2020 году, и руководство АЭС надеется завершить работы в рамках данного проекта к середине 2023 года.

Что касается решения проблемы захоронения ОЯТ, образовавшегося в результате эксплуатации остановленной Игналинской АЭС, то в январе 2022 года ее руководство заявило о подписании контракта с финской компанией Posiva Solutions. В рамках контракта, рассчитанного на 1 год, ее специалисты должны подготовить рекомендации по поводу возможности обеспечения надлежащего геологического захоронения ОЯТ и долгоживущих РАО, описать методологию мониторинга долгосрочной безопасности и подходы, которые будут использованы в ходе их проведения, с указанием применяемого программного обеспечения и необходимых данных. На заключительном этапе проекта специалисты Posiva Solutions выполняют общую оценку безопасности геологических формаций, рассматриваемых в качестве потенциально пригодных для размещения ПГЗРО в Литве, а также подготовят перечень общих критериев для его сооружения [4].

Словения

В конце августа 2021 года Американская компания Deep Isolation, занимающаяся вопросами

глубинного захоронения ОЯТ и РАО, подписала контракт с АРАО (Национальной организацией Словении по обращению с радиоактивными отходами) по технико-экономическому обоснованию возможности скважинного захоронения ОЯТ, образующегося в результате эксплуатации исследовательского реактора TRIGA II в Институте Йозефа Стефана в Любляне. Он находится в эксплуатации с 1966 года, являясь одним из 66 реакторов данного типа: на нем производят радиоактивные изотопы, используемые в медицинских исследованиях и в образовательных целях. Его окончательный останов запланирован на 2043 год.

В середине января 2022 года Организация по обращению с РАО Словении (АРАО) объявила о выводах экспертов по итогам этого проекта: результаты предварительного исследования подтвердили безопасность и экономическую эффективность реализации данной концепции захоронения ОЯТ в стране. С точки зрения экономической эффективности наиболее целесообразным был признан вариант, предусматривающий строительство одного единственного пункта глубинного скважинного захоронения, предназначенного для захоронения ОЯТ как из ИР TRIGA II, так и с АЭС Кршко. Другой перспективный вариант предполагает сооружение обычного ПГЗРО совсем небольшого размера, включающего лишь одну шахту, рассчитанную также на прием ОЯТ с обеих площадок [5].

Швеция

В конце января 2022 года Шведское правительство сообщило о принятии положительного решения по вопросу строительства двух объектов: завода по инкапсуляции ОЯТ в Оскарсхамне и пункта окончательного захоронения в Форсмарке. Процесс получения лицензии на их строительство был запущен еще в марте 2011 года. Завод по инкапсуляции ОЯТ и пункт промежуточного хранения ОЯТ (Clab) рассматриваются в заявке на получение лицензии как единый объект, получивший название Clink. Согласно проекту, в ПГЗРО на глубине около 500 м планируется разместить 6 000 капсул с ОЯТ общим весом около 12 000 тонн. Помимо этого, SKB представила планы по увеличению вместимости ПХ Clab с 8 000 до 11 000 тонн. Заявка прошла экспертизу как со стороны ядерного регулятора Швеции SSM, так и Суда по вопросам охраны окружающей среды: первым проектом был рассмотрен с позиций обеспечения ядерной безопасности, вторым — в контексте вопросов защиты

окружающей среды. В январе 2018 года положительные решения SSM и Суда по данному проекту были направлены правительству страны на рассмотрение. Также в муниципалитетах Эстхаммар и Оскарсхамн состоялись общественные слушания: в июне 2018 года жители муниципалитета Оскарсхамн поддержали предложение о строительстве завода по инкапсуляции ОЯТ, а в октябре 2020 года аналогичное решение по вопросу строительства ПГЗРО было принято вторым муниципалитетом [6].

Следующим шагом в реализации шведской программы по захоронению ОЯТ станет получение соответствующего разрешения от окружного муниципального суда по вопросам охраны окружающей среды и землепользования в Накко, который также предоставит более подробное описание условий эксплуатации обоих объектов.

Положительный ответ правительства Швеции по данному вопросу также означает, что компания SKB получила разрешение на строительство объектов в соответствии с положениями Закона о деятельности в области использования атомной энергии. Оно подразумевает, что ядерный регулятор SSM продолжит поэтапное выполнение оценки соблюдения требований безопасности оператором с учетом постоянно совершенствующихся технологий и получения новых знаний.

Что касается финансовой стороны вопроса, то реализация проектов предусматривает значительные вложения: общий размер инвестиций SKB, согласно оценкам, может достигнуть 2 млрд долларов США. В основном эти затраты связаны с выполнением строительных и горнопроходческих работ, а также созданием необходимых установок. Согласно планам компании, на сооружение ПГЗРО должно уйти около десяти лет [6].

Австралия

В феврале 2022 года Австралийская организация по ядерной науке и технологиям (ANSTO) объявила о запуске совместного проекта с Канадской компанией Terrestrial Energy по изучению перспектив применения технологии Synroc при обращении с ОЯТ, образующимся в ходе эксплуатации Интегральных реакторов на расплавах солей (IMSR). В планах компании Terrestrial Energy — уже в течение следующих десяти лет осуществить запуск первой АЭС с малым модульным реактором.

В рамках совместного проекта специалисты ANSTO окажут техническую поддержку и предоставят необходимые рекомендации

сотрудникам Terrestrial Energy, выступающей в качестве оператора АЭС с реакторами данного типа в Канаде, Великобритании, США и ряде других стран.

Synroc (сокращение от английского *synthetic rock*, или «синтетическая порода»¹) — это инновационная австралийская технология, позволяющая обеспечить безопасное хранение средне- и высокоактивных отходов сложного состава, разработанная специалистами ANSTO. Основана она на знаниях о кристаллических минеральных фазах, которые смогли на протяжении длительного времени сохраниться в естественных геологических средах в условиях воздействия повышенных температур и воды. Изначально данная технология разрабатывалась с целью решения проблемы захоронения высокоактивных РАО США, образовавшихся на установках военного назначения. Однако впоследствии ее предложили использовать при обращении с РАО, возникающими и на гражданских объектах.

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



Рис. 3. Проект объекта Synroc по обращению с ОЯТ в Лукас Хайтс [7]

¹ Synroc состоит из таких минералов, как пирохлор и криптомелан. Первоначальный вариант (Synroc C) был разработан для иммобилизации 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.

В 2018 году ANSTO приступила к сооружению в Лукас-Хайтс, неподалеку от Сиднея, объекта по обращению с РАО на основе технологии Synroc (рис. 3). Установку планируется использовать с целью переработки среднеактивных жидких отходов, образующихся в результате выделения медицинского изотопа молибдена-99. Создание объекта финансируется правительством Австралии [7].

США

В январе 2022 года Министерство энергетики США (DOE) заявило об участии трех национальных лабораторий (Национальные лаборатории Беркли, Сандии и Лос-Аламоса) в международном научно-исследовательском проекте HotBENT (от англ. High Temperature Effects on Bentonite Buffers), реализуемом под эгидой Швейцарского национального кооператива по захоронению радиоактивных отходов Nagra, в рамках которого изучаются последствия длительного воздействия высоких температур на бентонитовые глины, которые планируется использовать в качестве материала закладки в пунктах глубинного геологического захоронения ВАО (рис. 4) [8].



Рис. 4. Фотография с места проведения эксперимента HotBENT, в ходе которого нагревающий элемент был размещен внутри тоннеля подземной исследовательской лаборатории Гримзель

Концепция глубинного геологического захоронения ВАО предусматривает использование множественных барьеров безопасности: инженерных и естественного. Бентонит — это природная глина, характеризующаяся низкой водопроницаемостью и способная набухать, увеличиваясь в объеме, при контакте с водой. Именно эти свойства позволяют рассматривать его в качестве подходящего материала для заполнения пространства вокруг контейнеров с РАО или для засыпки тоннелей внутри самого ПГЗРО: бентонит позволяет предохранить упаковки с РАО от

контакта с подземными водами и способствует удержанию находящихся в них радионуклидов, формируя барьер в рамках мультибарьерной системы обеспечения безопасности, предусмотренной концепцией окончательной изоляции ВАО [8].

В рамках проекта HotBENT международные эксперты под руководством Nagra изучают поведение бентонита при длительном воздействии высоких температур, оценивая изменения его свойств, отвечающих за обеспечение безопасности захоронения ВАО. Специалистам предстоит доказать тот факт, что длительное воздействие тепла, излучаемого упаковками с ВАО, не приведет к неблагоприятным изменениям свойств материала буфера и вмещающих пород.

В сентябре 2021 года в Швейцарской подземной исследовательской лаборатории Гримзель была запущена установка по исследованию подземного захоронения РАО. В рамках этого проекта планируется в течение длительного времени изучать поведение бентонита при температурах до 200 °С, в два раза превышающих максимально допустимые стандартами безопасности, учитываемыми при разработке проектов ПГЗР.

Специалисты трех национальных лабораторий США также были привлечены к работам, проводимым в рамках данного исследования. Команда ученых из лаборатории Беркли занимается моделированием аналогичных процессов, используя в своей работе уменьшенную копию лабораторной установки. Их задача — сравнить изменения, произошедшие с материалом спустя полтора года, с теми, что произойдут через 5, 15 и 20 лет в полевых условиях. В центре внимания — изучение перспектив снижения способности бентонита к набуханию.

Группа экспертов из Сандийских национальных лабораторий проанализирует бентонит, использованный в ходе эксперимента в Беркли, и образцы, отобранные в Гримзель, которые не подвергались тепловому воздействию, с целью изучения изменений минералогического состава, обусловленных воздействием тепла, и присущей им способности к набуханию. Исследования, проводимые в Лос-Аламосе, также позволят проследить за тем, как смесь бентонита и других материалов системы инженерных барьеров безопасности реагирует на воздействие тепла. Кроме того, специалисты изучат поведение вмещающих пород, в которых могут быть размещены упаковки с РАО, с целью комплексной

характеризации поведения всех элементов многобарьерной системы безопасности и их изменения под воздействием повышенных температур, до 300 °С [8].

Литература

1. Posiva applies to operate used fuel disposal facilities, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Posiva-applies-to-operate-used-fuel-disposal-repos?feed=feed> (дата обращения: 05.01.2022).
2. Contract awarded for planning of Asse II facilities, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Contract-awarded-for-planning-of-Asse-II-facilitie?feed=feed> (дата обращения: 11.01.2022).
3. Lithuania to tackle Soviet-era waste store, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Lithuania-to-tackle-Soviet-era-waste-store?feed=feed> (дата обращения: 19.01.2022).
4. Finland's Posiva to support Lithuania used fuel disposal, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Finland-s-Posiva-to-support-Lithuania-used-fuel-di?feed=feed> (дата обращения: 24.01.2022).
5. Slovenian study sees case for deep borehole disposal, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Study-puts-case-for-deep-borehole-disposal-in-Slov?feed=feed> (дата обращения: 13.01.2022).
6. Swedish government gives go-ahead for used fuel repository, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Swedish-government-gives-go-ahead-for-used-fuel-re?feed=feed> (дата обращения: 27.01.2022).
7. IMSR developer partners with ANSTO on waste treatment technology, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/IMSR-developer-partners-with-ANSTO-on-waste-treatm?feed=feed> (дата обращения: 03.02.2022).
8. US national labs support international waste disposal research, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/US-national-labs-support-international-waste-dispo?feed=feed> (дата обращения: 20.01.2022).

Обзор подготовила Н. С. Цebaковская