

#### Германия

В декабре 2023 года Федеральное министерство окружающей среды Германии решило отказаться от планов по строительству централизованного логистического центра по обращению с радиоактивными отходами низкого (НАО) и среднего (САО) уровней активности (LoK, далее — Центр). Ранее в качестве площадки для размещения объекта была выбрана территория закрытой АЭС Вюргассен, откуда отходы планировалось транспортировать непосредственно в пункт глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) Конрад<sup>1</sup> (рис. 1). Решение было принято в связи со «слишком высоким уровнем юридических рисков и рисков планирования» [1].

Организацией работ по созданию Центра занималась компания BGZ Gesellschaft für Zwischenstorage mbH (BGZ). Согласно разработанному плану, контейнеры, заполненные упаковками с радиоактивными отходами (РАО) на площадках временного хранения, поступали бы в Центр, где из их множества могли бы быть сформированы партии, отвечающие требованиям для окончательного захоронения и дальнейшей транспортировки в ПГЗРО. Ввод Центра в эксплуатацию должен был состояться в начале 2027 года.

На самой площадке ПГЗРО места для строительства подобного объекта не было. Именно поэтому в марте 2020 года руководство компании BGZ утвердило территорию закрытой АЭС



Рис. 1. Эскизный проект возможного расположения наземных объектов на площадке ПГЗРО Конрад [1]

Вюргассен, имеющей прямое железнодорожное сообщение, в качестве места для размещения Центра. BGZ получила от оператора АЭС опцион на покупку необходимого имущества, срок действия которого истекал в конце 2023 года.

Однако по результатам последовавшего аудита, проведенного сотрудниками Федерального министерства окружающей среды (BMUV), которое изначально намеревалось к концу 2023 года одобрить покупку недвижимости под строительство Центра на сумму в несколько десятков миллионов евро, было установлено, что «из-за слишком существенных юридических рисков и рисков планирования проект не удастся реализовать в срок, а, следовательно, затраты на его реализацию окажутся чрезмерными». По этой причине BMUV приняло решение о закрытии проекта, тем самым стремясь избежать очевидно неудачных инвестиций общей суммой около 2,0 млрд евро (2,2 млрд долларов США) [1].

В свою очередь, отказ от строительства Центра означает увеличение срока активной эксплуатации ПГЗРО Конрад, ведь именно в сокращении этого периода и состояла основная задача его создания. Теперь же сотрудникам BGZ предстоит запланировать децентрализованную передачу РАО на окончательное захоронение, работа над которой велась и до этого, но лишь в качестве запасного варианта.

<sup>1</sup> Железорудный рудник Конрад (Зальцгиттер, Нижняя Саксония) был закрыт по экономическим соображениям в 1976 году. Одновременно был запущен исследовательский проект, призванный оценить пригодность его выработок для использования в качестве пункта окончательного захоронения НАО/САО. В 2002 году Министерство окружающей среды Нижней Саксонии приняло решение об утверждении плана строительства ПГЗРО Конрад. После многочисленных судебных разбирательств в 2007 году это решение было подтверждено Федеральным административным судом. В январе 2008 года оператором была получена лицензия на строительство ПГЗРО.

По словам технического директора компании BGZ Томаса Лауча, «эксплуатация ПГЗРО Конрад возможна и без логистического центра, но, когда речь идет о доставке отходов из более чем 30 пунктов временного хранения РАО, разбросанных по всей территории страны, неизбежно придется решать сложные логистические проблемы, связанные с правильной очередностью транспортировки и доставки РАО на площадку ПГЗРО»<sup>1</sup>.

Еще одной важной новостью в сфере обращения с РАО в Германии стало успешное завершение работ по созданию экспериментальной модели современной установки для цементирования РАО в бочках, о чем ее оператор, немецкая компания Nukem Technologies Engineering Services GmbH, объявил в конце января 2024 года (рис. 2) [2].



Рис. 2. Экспериментальная модель установки для цементирования РАО в бочках [2]

Установка позволит осуществлять консервацию различных видов РАО, в том числе: концентратов испарителей с высоким содержанием солей; радиоактивной золы, образующейся на установках для сжигания отходов; ионообменных смол; материалов поглотителей и фильтров; радиоактивных осадков, а также радиоактивных материалов естественного происхождения и опасных отходов с предприятий нефтегазодобывающей, нефтеперерабатывающей, химической и медицинской промышленности.

При цементировании происходит отверждение жидких РАО (ЖРО) посредством их

заклучения в матрицу внутри 200-литровых стальных бочек, не подвергающихся в ходе данного процесса наружному загрязнению. В состав технологической системы входят: работающий внутри бочек смеситель; все необходимые для перемещения бочек системы, в том числе захватные приспособления и роликовые транспортеры; системы передачи и запечатывания/распечатывания бочек; система дозирования жидких добавок и заполнения бочек ЖРО; система видеонаблюдения; станция подачи сухих материалов; система отслеживания и радиационного контроля; система анализа проверки загрязненности наружных поверхностей бочек; система взвешивания бочек и система контроля их заполнения.

Технологический процесс цементирования полностью автоматизирован, что сводит к минимуму необходимость вмешательства со стороны оператора. Вся система, включая смеситель, роликовые транспортеры и прочие элементы установки, координируется дистанционно с пульта в центре управления. Персонал в режиме реального времени получает всю необходимую информацию о происходящих процессах и может оперативно реагировать на любые возможные отклонения. Каждой бочке присваивается свой уникальный QR-код, содержащий все необходимые сведения об отходах и обеспечивающий отслеживаемость ее дальнейшего перемещения.

Горячая камера, в которой выполняются операции смешивания, оснащена системой надувных пневматических уплотнений высокой плотности, предотвращающей любые утечки в ходе перекачивания и дозирования ЖРО, а внутрицилиндровый смеситель с четырьмя степенями свободы позволяет получать абсолютно однородную смесь и гарантирует высокое качество конечного продукта как с точки зрения его прочности, так и скорости выщелачивания радионуклидов [2].

Эта полномасштабная экспериментальная установка позволила комплексно испытать возможности данной технологии до ее непосредственного внедрения на реальных объектах использования атомной энергии, а также подготовить персонал к работе с новым оборудованием.

## Великобритания

В конце декабря 2023 года в новый пункт хранения (ПХ) РАО (англ. Box Encapsulation Plant Product Store, BEPPS-DIF), введенный в эксплуатацию на территории Селлафилдского комплекса, поступила первая партия исторических отходов. Данный объект представляет собой

<sup>1</sup> В ПГЗРО Конрад планируется разместить до 303 000 кубических метров НАО/САО, работы по окончательному захоронению которых должны стартовать в начале 2030-х годов. На эти отходы приходится около 95 % всего объема РАО, накопленных в Германии, и всего 1 % радиоактивности. В настоящее время они размещены во временных пунктах наземного хранения на более чем 30 площадках. После доставки на территорию комплекса Конрад отходы будут иммобилизованы в матрицах из бетона и надежно изолированы в подземных секциях ПГЗРО, тем самым гарантируя безопасность такого захоронения в долгосрочной перспективе.

специально оборудованное наземное сооружение с толщиной стен 1 м, способное вместить в общей сложности 6681 контейнер с САО, гарантируя их надежное и безопасное хранение сроком до 100 лет. В сутки ВЕРПС-DIF может принять до 9 контейнеров. К ПХ примыкает пристройка, помещения которой оборудованы всем необходимым для размещения упаковок с отходами, извлекаемых из исторических ПХ, расположенных на территории комплекса [3].

Первая партия, поступившая в новый ПХ, представляет собой РАО, полученные из сухого хранилища оболочек твэлов (англ. Pile Fuel Cladding Silo, PFCS), сооруженного еще в 1952 году. Этот объект состоит из шести заполненных отходами камер высотой 21 м, которые также называют «шахтами». Установка эксплуатировалась в течение 12 лет, и в ней было размещено на хранение в общей сложности более 3200 м<sup>3</sup> САО — это оболочки твэлов из двух старейших реакторов Великобритании: Уиндскейл и Чаплкросс. В середине 1990-х гг., когда срок службы объекта подошел к концу, были выполнены работы по его ремонту и техническому обслуживанию, что позволило продлить срок хранения отходов до запуска новой программы по их извлечению и стабилизации.

К настоящему времени PFCS является одним из особенно опасных объектов на территории Селлафилдского комплекса, а решение проблемы извлечения отходов и их переупаковки представляется наиболее приоритетной задачей, стоящей в настоящее время перед оператором площадки NDA. Первая партия РАО была успешно удалена из PFCS в августе 2023 года. Эти работы проводились с использованием дистанционно управляемого крана, с помощью которого отходы извлекали из шахты и помещали в специально изготовленные пятитонные пеналы из нержавеющей стали объемом 3 м<sup>3</sup>. После этого их загружали в экранированный контейнер, в котором отходы перевозили автомобильным транспортом на площадку ВЕРПС-DIF. Затем на территории ПХ его краном снимали с транспортера и перемещали внутрь здания. После удаления болтов, фиксировавших крышку контейнера, его загружали внутрь экранированной камеры, в которой операторы с помощью дистанционно управляемого оборудования удаляли крышку и перемещали пенал в заранее отведенное место внутри ПХ, где он должен находиться до момента отправки на окончательное захоронение в ПГЗРО. Успешный опыт извлечения отходов из PFCS можно считать первой вехой в целой серии мероприятий, которые планируется осуществить на множестве других

объектов, характеризующихся высоким уровнем опасности и расположенных на территории Селлафилдского комплекса [3].

Проведение подобных работ невозможно без использования дистанционно управляемого оборудования. В последнее время во всем мире все чаще для решения подобных задач применяют различные робототехнические средства. Так, в декабре 2023 года группа инженеров из Университета Глазго, Манчестерского университета, Бристольской лаборатории робототехники и Университета Хериот-Ватт презентовала систему SMuRFs (англ. Symbiotic Multi-Robot Fleet), обеспечивающую согласованное выполнение различных задач колесными, четвероногими и пилотируемыми роботами. Для управления данной системой требуется всего один оператор, удаленно наблюдающий за их действиями и происходящим между ними обменом данными, поступающими с датчиков. Такая информационная связь позволяет целой команде роботов согласованно выполнять сложные технические задачи, одновременно привлекая функционал сразу множества машин. Использование технологии SMuRF позволит добиться более высокого уровня безопасности и значительного роста производительности при выполнении работ по мониторингу состояния ядерных объектов, а также открывает новые возможности для обслуживания инженерной инфраструктуры в сложных и опасных условиях, к примеру на морских ветроэнергетических платформах [4].

Способность роботов сотрудничать и самоорганизовываться при выполнении подобных задач обеспечивает сложная «киберфизическая система» (англ. CPS). Она способна взаимодействовать с 1600 различными датчиками, роботами и другими цифровыми и физическими объектами практически в условиях реального времени и, в свою очередь, позволяет роботам, оснащенным различным функционалом, и операционным системам не только передавать данные оператору, но и работать слаженно под собственным управлением.

На основании собранных и обработанных CPS-данных реализуются трехмерные цифровые двойники реальных объектов, что позволяет SMuRF организовывать перемещение роботов в пространстве. При этом для выполнения поставленных задач требуется лишь минимальный контроль со стороны оператора, который, в свою очередь, получает от системы массивы разнообразных данных и при необходимости через специально разработанную цифровую панель управления помогает ей принимать обоснованные решения, а также позволяет перейти

на полностью ручное управление действиями роботов.

Один из таких комплексов был развернут в целях демонстрации его технических возможностей на территории «Центра по сотрудничеству в области робототехники и искусственного интеллекта» (RAICo) в Камбрии, учрежденного совместно Управлением по атомной энергии Великобритании, Управлением по выводу из эксплуатации ядерных объектов (NDA), компанией Sellafield Ltd и Манчестерским университетом. В ходе выполненных испытаний SMuRF успешно справилась с задачей проведения инспекции в специально смоделированном для этих целей ПХ РАО. Инженеры намеренно усложнили задание, смоделировав ряд трудностей, которые, как правило, встречаются на практике при проведении работ по выводу из эксплуатации (ВЭ) объектов использования атомной энергии. Слаженное взаимодействие роботов обеспечило успешное выполнение целого ряда задач, которые часто приходится решать оператору при проведении радиационного мониторинга на площадках ядерных установок. Роботы при помощи вмонтированных в них датчиков составили карту местности, создав трехмерный двойник площадки объекта. Для получения более точных данных был также использован дрон под управлением человека-оператора [4].

### Канада

В начале января 2024 года по запросу оператора Канадских ядерных лабораторий (CNL), осуществляющего их эксплуатацию в Чок-Ривер (провинция Онтарио), регулятор внес изменения в положения действующей лицензии, выдав разрешение на строительство пункта приповерхностного захоронения (ПЗРО) НАО на этой площадке [5].

В планах оператора — построить объект, способный обеспечить безопасную изоляцию до 1 млн м<sup>3</sup> твердых НАО, включая отходы, накопленные в результате более 60 лет эксплуатации ядерных объектов, размещенных в Онтарио, а также образующиеся в результате проведения работ по дезактивации загрязненных территорий и ВЭ ядерных объектов. ПЗРО курганного типа (рис. 3), состоящий из множества ячеек захоронения, планируется оборудовать подстилающим и покрывающим экранами, а также системой сбора фильтрата, которая позволит фиксировать случаи нарушения герметичности его конструкций и осуществлять мониторинг состояния окружающей среды на площадке. В выданном ядерным регулятором заключении



Рис. 3. Эскиз проекта ПЗРО курганного типа на площадке Чок-Ривер (Онтарио) [5]

отмечено, что разработанный проект ПЗРО «отвечает требованиям надежности, подкреплен материалами всеобъемлющего обоснования безопасности, подтверждающими возможность эксплуатации объекта на протяжении заявленного срока, в том числе в неблагоприятных метеорологических условиях, а также в условиях сейсмической активности и изменения климата».

Положения обновленной лицензии, действующие до 31 марта 2028 года, включают два новых условия, согласно которым в рамках проекта по созданию нового ПЗРО CNL потребуются запустить процесс лицензирования и оценки воздействия объекта на окружающую среду. При успешном завершении этой процедуры будет выдана отдельная лицензия на эксплуатацию, срок действия которой составит не менее 50 лет.

Большая часть отходов, которые в дальнейшем планируется разместить в новом ПЗРО, в настоящее время либо хранится на площадке Чок-Ривер, либо будет образовываться в будущем в результате проведения работ по дезактивации ее загрязненных территорий и ВЭ находящихся на ней объектов. Согласно прогнозам, объем РАО, поступающих для захоронения в Чок-Ривер с других площадок (строения, принадлежащие компании Atomic Energy of Canada Limited, а также больницы, исследовательские организации и т. п.) составит около 10% [5].

### США

В конце января 2024 года на площадке Опытной установки по изоляции трансурановых РАО (WIPP) стартовали работы по проходке новой секции (Секция № 11) — первой из двух, разрешение на сооружение которых было выдано в прошлом году Управлением по охране окружающей среды штата Нью-Мексико в рамках процедуры продления срока действия разрешения на эксплуатацию WIPP еще на 10 лет (рис. 4) [6].



Рис. 4. Работы по проходке Секции № 11 ПГЗРО WIPP в штате Нью-Мексико (США) [6]

WIPP, выработки которой расположены в соляных породах на глубине более 610 метров, является единственным в США ПЗРО, принимающим на захоронение РАО, содержащие трансурановые радионуклиды. В их составе — ветошь, средства индивидуальной защиты, инструменты, обломки строительных конструкций и другие предметы, загрязненные небольшими количествами плутония и других техногенных радионуклидов, образовавшихся в ходе осуществления американской оборонной программы. Такие отходы загружают в герметичные бочки и размещают в отсеках ПГЗРО длиной 91 м, шириной 10 м и высотой 4,3 м, по семь в каждой секции. На проходку и оборудование одной секции ПГЗРО обычно уходит около двух лет, при этом требуется извлечь около 120 000 тонн соляной породы. Проходческий комбайн непрерывного действия разрушает ее с помощью вращающегося барабана со скоростью до 10 тонн в минуту, а затем она либо перемещается грузовым транспортом внутри ПГЗРО для использования на других участках, либо поднимается на поверхность и сбрасывается в отвал соляных хвостов.

Предполагается, что при естественном затекании соляные породы в конечном итоге поглощают захороненные в ПГЗРО упаковки с отходами, обеспечив их герметичную изоляцию, а также приведут к запечатыванию самих выработок, поэтому их проходка в WIPP организована таким образом, чтобы секция была пройдена непосредственно к тому моменту, когда она понадобится для размещения РАО. В настоящее время для этого используется Секция 8, а Секция 7, задействованная до этого, уже окончательно заполнена.

По проекту Секция № 11 будет соединена с новой воздухозаборной шахтой, сооруженной для увеличения производительности систем подземного вентилирования, а также с остальной частью ПГЗРО новыми проходками общей протяженностью чуть меньше одного километра.

Строительство новых секций в WIPP обеспечит необходимые мощности для безопасного удаления РАО, образующихся в результате осуществляемых американским Министерством энергетики программ по очистке загрязненных территорий и обеспечению национальной безопасности [6].

Следует отметить, что до недавнего времени в США концепция окончательного захоронения РАО в глубинных геологических формациях рассматривалась в качестве наиболее приоритетной и в контексте обеспечения долгосрочной безопасности отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Однако в последнее время все чаще звучат высказывания американских экспертов о возможности перехода к технологиям его переработки, изучение и формирование которых были запущены еще в 1963 году, но программа была закрыта спустя всего несколько лет (в 1972 году). С тех пор США реализовывали открытый топливный цикл, в котором ОЯТ, хранящееся на множестве площадок временного хранения вблизи АЭС, в конечном итоге предполагалось окончательно изолировать в пункте глубинного геологического захоронения. В настоящее время планы, похоже, стали меняться, и американские эксперты все чаще заявляют о преимуществах замкнутого ядерного топливного цикла (ЯТЦ) с переработкой ОЯТ и получением при этом пригодных для дальнейшего использования продуктов, также позволяющего существенно снизить массу, объем и токсичность ядерного материала, направляемого на окончательное захоронение.

Одним из недавних шагов в этом направлении стал «Меморандум о взаимопонимании по сотрудничеству в области разработки пилотной установки для промышленной переработки ОЯТ легководных реакторов», подписанный в конце февраля 2024 года компаниями Orano USA и SHINE Technologies [7].

Создание подобного объекта производительностью около 100 тонн ОЯТ в год, способного в результате переработки извлекать около 99% пригодных для дальнейшего использования урана и плутония, призвано продемонстрировать возможность промышленной переработки топлива легководных реакторов с учетом реализации мер нераспространения ядерного оружия.

Данная система на новой установке была разработана на основе уже зарекомендовавшей себя технологии критического разделения SHINE и методов Orano, реализованных на заводе Ла-Аг во Франции, где к настоящему времени кондиционировано более 40 000 тонн ОЯТ.

Извлеченный в результате этого ядерный материал пригоден для производства нового топлива для современных реакторов, а также некоторые изотопы могут найти свое применение в медицинских и промышленных целях.

Согласно имеющимся планам, площадка для объекта будет окончательно определена к концу 2024 года, а к началу 2030-х годов планируется приступить к его полномасштабной эксплуатации.

Помимо этого проекта, компания SHINE Chrysalis в настоящее время также занята строительством еще одного крупного промышленного предприятия в Джейнсвилле, штат Висконсин, ставя перед собой задачу создания самых больших в мире специализированных мощностей по изготовлению медицинских изотопов. При загрузке на полную мощность оно позволит обеспечить почти половину мировых потребностей в молибдене-99. Ожидается, что второе предприятие, которое компания планирует открыть в Нидерландах, будет обладать сопоставимой производительностью [7].

## Индия

2 января 2024 года состоялась торжественная церемония пуска демонстрационного завода по переработке ОЯТ быстрых реакторов (англ. Demonstration Fast Reactor Fuel Reprocessing Plant, DFRP) в Центре атомных исследований Индиры Ганди (IGCAR) в Калпаккаме. В его строительство было вложено около 48 миллионов долларов США, он является первым в мире промышленным объектом, способным перерабатывать как карбидное, так и оксидное ОЯТ быстрых реакторов [8].

Данный проект, подготовленный индийскими специалистами, открывает возможности для строительства таких крупномасштабных коммерческих заводов, создание которых предусмотрено национальным планом по внедрению замкнутого ЯТЦ и использованию значительных объемов тория, имеющихся в стране.

На площадке Центра IGCAR также расположен испытательный реактор на быстрых нейтронах (FBTR), эксплуатация которого осуществляется с 1985 года. В 2004 году в нем стартовали работы по созданию прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах мощностью 500 МВт (PFBR), а в августе 2023 года было объявлено о проведении пуско-наладочных работ, предваряющих его ввод в эксплуатацию. Всего на площадке в Калпаккаме планируется построить еще два быстрых реактора [8].

## Финляндия

В феврале 2024 года на площадке строящегося завода по инкапсуляции ОЯТ в Олкилуото были завершены работы по установке транспортной платформы для перемещения контейнеров с ОЯТ (рис. 5) размером примерно пять на четыре метра и весом около 30 тонн. Она была изготовлена французской компанией CSI и доставлена на площадку завода в начале месяца, а затем установлена на рельсы, проложенные этажом ниже зала для приемки топлива. Платформа обеспечит выполнение ключевых операций по обращению с ОЯТ, предваряющих его удаление в пункт окончательного захоронения: она предназначена не только для осуществления приема транспортных контейнеров, доставляемых на площадку завода, но и позволяет перемещать, поднимать и загружать их в перегрузочную станцию. Одной из сложностей, с которой столкнулись проектировщики этой системы, стало обеспечение возможности выполнения подобных операций при довольно небольшом объеме свободного пространства внутри транспортного коридора [9].

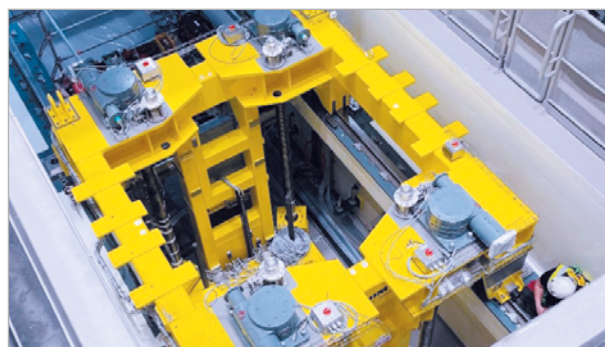


Рис. 5. Многофункциональная платформа для приема отходов, установленная на рельсы на заводе по инкапсуляции ОЯТ в Олкилуото [9]

Платформа для транспортировки контейнеров с топливом представляет собой первый элемент системы обращения с ОЯТ, которое планируется доставлять на площадку завода по инкапсуляции из пункта временного хранения Teollisuuden Voima Oyj (TVO). На пути между пунктом приема ОЯТ и станцией перегрузки контейнеры также будут проходить промежуточную станцию для проведения всех необходимых ремонтных работ и подготовки их к выгрузке и перезагрузке. Согласно текущим планам, финский ПГЗРО начнет принимать ОЯТ на захоронение уже в середине 2020-х гг.

### Бельгия

В середине февраля 2024 года Европейская комиссия одобрила проект Бельгийского центра ядерных исследований (SCK-CEN) и Центра металлургических исследований (CRM) по созданию передовой установки для плавления металлов, образующихся в результате демонтажа АЭС [10]. Их можно условно разделить на три основные категории:

- металлические отходы, не имеющие остаточного радиоактивного загрязнения, переработка которых может осуществляться обычным способом;
- металлические отходы, имеющие радиоактивное загрязнение, которые не могут быть переработаны с помощью обычных методов. Такие металлы относят к категории РАО, подлежащих захоронению;
- металлические отходы, которые характеризуются невысоким содержанием радиоактивных веществ, что позволяет перерабатывать их на специализированных объектах.

В июне 2023 года в рамках «Бельгийского плана по восстановлению и обеспечению устойчивости» (англ. Belgian Recovery and Resilience Plan) правительство Бельгии выделило 13,5 млн евро (14,5 млн долларов США) на реализацию проекта SMELD («современные технологии плавки для сокращения объемов металлических отходов, образующихся в результате проведения работ по ВЭ»). Его задача состоит в создании установки, которая бы позволила перерабатывать большие объемы металла, возникающие при демонтаже ядерных объектов. Основное внимание уделяется материалам, которые не могут быть переработаны посредством обычных технологий вследствие повышенного радиоактивного загрязнения, но не обладают его достаточным уровнем, предусматривающим их захоронение в качестве РАО [10].

Теперь, когда Европейская комиссия одобрила проект выделения инвестиций, SCK-CEN и CRM подписали соглашение о сотрудничестве в области исследований, дав старт его практической реализации. Оно состоит из двух этапов: фундаментальные исследования, проводимые SCK-CEN в Моле совместно с CRM в Льеже, и оценка технико-экономической целесообразности реализации данного проекта. Исследования в лабораторной плавильной печи позволят изучить движение определенных радиоизотопов в процессе плавки металла и помогут определить параметры и методы контроля за их распределением. Проект также будет включать в себя технико-экономическое обоснование, промышленные исследования и создание конструкции

плавителя, а также более масштабные изыскания с привлечением одного или нескольких промышленных предприятий, которые будут отобраны SCK-CEN.

Итогом реализации проекта SMELD должна стать разработка более совершенной технологии, чем используемые сегодня на крупных плавильных предприятиях. Улавливая большую часть радиоизотопов в процессе плавки и отделяя их от металла, эти установки уже сейчас обеспечивают существенное сокращение объемов РАО. Однако с помощью имеющихся в настоящее время методов некоторые радиоизотопы перехватить сложно. Именно им и уделяется основное внимание в рамках проекта.

SCK-CEN и CRM предстоят масштабные работы по проектированию новой установки, в ходе которых современные возможности термодинамического моделирования будут применены в комплексе с предварительными технико-экономическими и оптимизационными испытаниями в лабораторных условиях. На первых этапах эксперименты будут проводиться CRM Group с использованием нерадиоактивных материалов; за ними последуют исследования SCK-CEN с использованием уже радиоактивных изотопов, после чего стартует процесс создания конструкции промышленной печи. Завершить эти работы участники проекта намерены к 2026 году [10].

### Испания

В конце февраля 2024 года правительство Испании опубликовало материалы «Заявления о воздействии на окружающую среду» по проекту строительства новой юго-восточной секции ПЗРО Эль-Кабриль для захоронения НАО и САО на площадке в Орначуэлосе, провинция Кордова (рис. 6) [11].



Рис. 6. ПЗРО Эль-Кабриль (Испания) [11]

Национальный пункт захоронения Эль-Кабриль был введен в эксплуатацию в 1961 году и принимает на захоронение РАО очень низкого,

низкого и среднего уровня активности. Отходы НАО и САО доставляют на площадку ПЗРО на специализированных транспортных средствах и разгружают в зоне кондиционирования или в одной из зон временного хранения. Большая часть отходов с АЭС поступает уже в предварительно переработанном состоянии в бочках. Отходы из больниц, исследовательских центров и с промышленных объектов кондиционируют и размещают в установках ПЗРО. Поступившие упаковки загружают в бетонные контейнеры, заполняют до допустимого предела, а затем вводят специальный раствор для отверждения их содержимого, в результате чего формируется компактный блок, который и подлежит захоронению в ПЗРО.

В июне 2022 года, в соответствии с положениями «6-го Общего плана по окончательному захоронению РАО», компания Enresa (испанский оператор по ВЭ ядерных установок и обращению с РАО) передала на рассмотрение Министерству экологического перехода и демографических проблем (MITECO) и Совету по ядерной безопасности (CSN) всю необходимую документацию для запуска процедуры получения разрешения на строительство новой секции ПЗРО Эль-Кабриль.

Согласно разработанному проекту, новая юго-восточная секция ПЗРО будет включать 27 модулей, расположенных в три ряда по девять в каждом. Новые модули, которые планируется расположить на общей площади 362,3 × 103,4 метра, будут сооружены в два этапа. Сначала появится первая очередь, состоящая из 12 модулей, ввод в эксплуатацию которых намечен на 2028 год. Остальные 15 планируется строить в дальнейшем в соответствии с текущими потребностями по размещению в них РАО [11].

### Литература

1. No centralised logistics centre for German repository, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/No-centralised-logistics-centre-for-German-reposit> (дата обращения: 18.12.2023).
2. Nukem completes mock-up of waste cementation system, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Nukem-completes-mock-up-of-waste-cementation-syste> (дата обращения: 29.01.2024).
3. First waste received by new Sellafield transfer facility, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/First-waste-received-by-new-Sellafield-transfer-fa> (дата обращения: 20.12.2023).
4. SMuRFs to help in nuclear decommissioning, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/SMuRFs-to-help-in-nuclear-decommissioning> (дата обращения: 18.12.2023).
5. CNL permitted to build Chalk River repository, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/CNL-permitted-to-build-Chalk-River-repository> (дата обращения: 10.01.2024).
6. First new panel in a decade at US waste facility, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/First-new-panel-in-a-decade-at-US-waste-facility> (дата обращения: 26.01.2024).
7. Plans announced for pilot US nuclear fuel recycling plant, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Plans-announced-for-pilot-US-nuclear-fuel-recyclin> (дата обращения: 01.03.2024).
8. Indian PM dedicates demonstration reprocessing plant, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Indian-PM-dedicates-demonstration-eprocessing-pla> (дата обращения: 04.01.2024).
9. Fuel transfer trolley in place at Finnish encapsulation plant, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Fuel-transfer-trolley-in-place-at-Finnish-ncapsul> (дата обращения: 13.02.2024).
10. Belgium launches project to develop metal smelter, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Belgium-launches-project-to-develop-metal-smelter> (дата обращения: 15.02.2024).
11. Licensing of El Cabril expansion progresses, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Licensing-of-El-Cabril-expansion-progresses> (дата обращения: 29.02.2024).

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