DOI: 10.25283/2587-9707-2025-4-53-63 УДК 621.039

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ФОНДОВ В ОБЛАСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Е. О. Кузнецова

Госкорпорация «Росатом», Москва

Статья поступила в редакцию 20 октября 2025 г.

Приводятся результаты анализа зарубежных практик с точки зрения особенностей механизмов финансирования деятельности по захоронению радиоактивных отходов (РАО) под влиянием научно-технических решений и сложившихся национальных систем в области атомной энергетики. Практические модели формирования и управления целевыми фондами в области захоронения РАО в разных странах демонстрируют значительные различия. Расходы на научно-исследовательские программы, являющиеся неотъемлемой частью любого проекта по сооружению и эксплуатации пунктов захоронения РАО (ПЗРО), оцениваются и учитываются при расчете целевых взносов операторов в общей совокупности затрат. Кроме того, многие страны используют механизм создания «рискового резерва» для финансирования непредвиденных расходов по долгосрочным проектам.

Ключевые слова: *радиоактивные отходы, технико-экономический анализ, финансирование деятельности по захоронению РАО, зарубежные фонды по обращению с РАО.*

Введение

Устойчивое развитие мировой атомной энергетики, являющейся одним из ключевых элементов низкоуглеродной энергетики будущего, неразрывно связано с решением проблемы безопасного и окончательного захоронения образующихся радиоактивных отходов. Создание объектов окончательной изоляции РАО является сложной инженерной и научно-технической задачей, характеризующейся большими капитальными затратами, исключительно длительными сроками реализации (десятилетия и даже столетия) и высочайшими требованиями к безопасности.

В этой связи ключевым вызовом для государств, использующих атомную энергетику, становится не только разработка технологических решений, но и создание адекватных, надежных и прозрачных финансовых механизмов, гарантирующих наличие необходимых средств в течение всего жизненного цикла объектов по обращению с РАО.

Финансовые обязательства по захоронению отходов носят отложенный во времени характер, риск их недофинансирования или невыполнения по экономическим причинам ложится на будущие поколения и государственный бюджет, что противоречит фундаментальным принципам устойчивого развития.

Целью настоящей статьи является выявление особенностей механизмов финансирования деятельности по захоронению РАО в других странах под влиянием научно-технических решений и сложившихся национальных систем в области атомной энергетики.

Лучшие практики: опыт стран с развитой атомной энергетикой

Международное сообщество в лице таких авторитетных организаций, как МАГАТЭ и OECD/NEA, сформировало консенсус относительно базовых принципов финансирования обращения с РАО [1]:

- «загрязнитель платит» (англ. «polluter pays»): все расходы, включая расходы на захоронение отходов, должны нести их производители;
- предварительное финансирование (англ. «pre-funding»): средства должны аккумулироваться в течение всего срока эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), чтобы избежать финансового бремени для будущих поколений и обеспечить наличие средств после их вывода из эксплуатации (ВЭ) для обращения с образовавшимися в результате их деятельности РАО;
- транспарентность и надежность: собранные средства должны быть защищены от банкротства и инфляции, использоваться строго по целевому назначению, а управление фондом должно быть открытым и подотчетным.

В каждой стране исторически сложились свои институциональные особенности этой системы, и эти различия, возможно, единственное, что их объединяет. Подходы определяются прежде всего национальными стратегиями использования атомной энергетики. К примеру, государства, закупающие топливо (Швеция, Финляндия), и его производящие или перерабатывающие (Франция, Россия), будут иметь принципиальные отличия в ценообразовании. Тем не менее основным механизмом финансирования деятельности по обращению с РАО, наилучшим образом отвечающим заявленным принципам, признаны целевые (внебюджетные) фонды, которые наполняются за счет обязательных взносов эксплуатирующих организаций [2], [3]. В большинстве стран (например, Швеции, Финляндии, Бельгии, Японии) размер регулярного платежа для АЭС, как правило, устанавливается исходя из количества произведенной электроэнергии (цена за кВт·ч) и включается в ее себестоимость, а аккумулированные средства инвестируются в низкорисковые активы (государственные облигации, высоконадежные ценные бумаги) для защиты от инфляции и обеспечения прироста капитала. Для других ОИАЭ — предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), науки, медицины, горнодобывающей промышленности — взносы определяются напрямую, исходя из количества образованных отходов.

Расчет значения этого взноса (тарифа) — сложная методологическая задача, поскольку национальные программы по захоронению РАО, как и другие направления бэкенда, характеризуются длительными временными горизонтами, большими капиталовложениями, технической сложностью и высоким уровнем неопределенности.

В этом смысле большое значение имеют надежные методы прогнозирования затрат. Среди них три широко используемых (в порядке возрастания достоверности оценок): метод аналогов, параметрический и «снизу-вверх» (сметный расчет) [4]. Выбор в пользу того или иного подхода или их комбинирования определяется текущим уровнем проработки решений и имеющихся исходных данных, а также наличием опыта выполнения аналогичных работ.

Оценка затрат является лишь одним из компонентов в расчете необходимого размера финансового обеспечения ПЗРО. С экономической точки зрения сумма, полученная или потраченная сегодня, строго несопоставима с той, что будет получена или потрачена в будущем. Следовательно, будущие стоимости активов или обязательств должны быть дисконтированы. Таким образом, в расчетах дополнительно учитываются: прогнозы образования РАО, в зависимости от которых взимаются взносы с операторов, период сооружения и эксплуатации установок (то есть сроки возникновения затрат) и ставка дисконтирования.

Однако на практике даже самые качественные стоимостные оценки не могут гарантировать достоверного результата на таком длительном временном периоде (например, для пункта глубинного захоронения РАО (ПГЗРО) это 100—150 лет) ввиду постоянно меняющихся условий, как внешних, так и внутренних. Как минимум, уровни инфляции и доходности фондов будут неотвратимо меняться и оказывать влияние на решения о корректировке тарифов. Кроме того, страны с крупными инвестиционными программами по сооружению ПЗРО на этапе определения необходимого уровня взносов зачастую могут опереться только на предварительные планы. Именно поэтому очень важно проводить анализ рисков и неопределенностей, а также обеспечивать гибкость политики ценообразования на законодательном уровне. Способность системы достаточно быстро реагировать на изменения сценарных условий и успешно адаптироваться к ним определит необходимый баланс накопленных средств и величины будущих обязательств.

Рекомендации по учету рисков и неопределенностей при выполнении оценок стоимости программ по захоронению РАО представлены в

целом ряде зарубежных публикаций [1], [4]—[7]. Эксперты сходятся во мнении, что «после того, как стратегия управления рисками и неопределенностями установлена, затраты на реализацию мер по их смягчению следует включить в общую смету расходов» [8] (рис. 1). Так, фонды Швеции, Финляндии, Бельгии, Великобритании и Швейцарии предполагают рисковые резервы.

Основываясь на результатах проведенного анализа неопределенностей, объем непредвиденных расходов рассчитывается либо путем применения «детерминистических методов» на основании заранее определенного процента от общих затрат, либо «вероятностных подходов», основанных на сложных математических и статистических методах.

Рис. 1. Основные компоненты оценки затрат на захоронение РАО

Что касается гибких механизмов регулирования, то, в соответствии с [8], размеры отчислений организаций или тарифов подлежат ежегодному обновлению (или каждый раз при внесении существенных изменений в производственную или инвестиционную программы захоронения). Масштабные пересмотры рекомендуется проводить каждые 3—5 лет. Например, в Японии и Великобритании корректировка проводится ежегодно, в Швеции и Финляндии — раз в 3 года, в Швейцарии и Франции — каждые 5 лет.

В Швеции процедура расчета ежегодных взносов в фонд по обращению с РАО состоит из следующих основных этапов (похожая схема используется и в Финляндии):

1. Оценка затрат. Каждые три года компания SKB (шведский национальный оператор по обращению с РАО) совместно с операторами АЭС должна направлять на рассмотрение государству сводный отчет с подробным описанием всех предстоящих в рамках реализации данной программы статей расходов.

2. Затем «Шведское национальное управление по госдолгу» (National Debt Office) (далее — Управление) проводит анализ полученных от SKB данных.

3. Эксперты Управления изучают информацию по рынку, доступную за предыдущий квартал на момент проведения исследования (обычно по состоянию на 30 июня текущего года), включая сведения по фактическому состоянию фонда, последние прогнозы по объемам производства электроэнергии на АЭС и текущие кривые инфляции и ключевой ставки.

4. На основании этих данных эксперты Управления устанавливают тариф для каждого оператора. Основной принцип, которым они руководствуются при проведении своих расчетов, — это гарантия условий соответствия текущих величин ожидаемых взносов вместе с долей оператора реактора в фонде обращения с РАО и стоимости его будущих обязательств. Для реакторов, находящихся на этапе эксплуатации, величина взноса определяется в эре за киловатт-час поставленной электроэнергии, а для остановленных — в виде фиксированной суммы выплат за год.

5. Устанавливаемый размер взносов также учитывает такие показатели, как «кредитный риск» и «рисковый резерв» (рис. 2). Величина кредитного риска рассчитывается как разница между суммой, необходимой для осуществления деятельности по обращению с РАО, и частью средств, уже вложенных оператором реактора в фонд, а рисковая маржа — это дополнительная выплата, благодаря которой баланс оператора с высокой степенью вероятности останется положительным даже в случае невнесения им

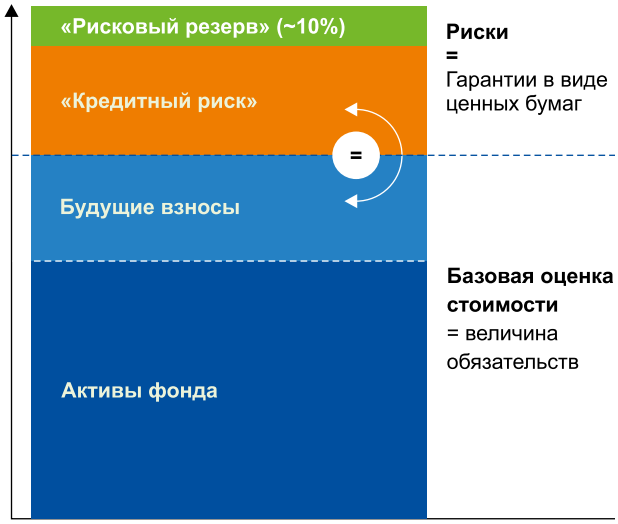

Рис. 2. Схема основных составляющих средств фонда на обращение с РАО в Швеции [9]

последующих взносов. Помимо этих показателей эксперты Управления также проводят анализ чувствительности в целях оценки возможного влияния ключевых параметров, к примеру основных затрат и ожидаемой доходности от взносов в фонд.

6. После проведения необходимых консультаций с заинтересованными сторонами Управление направляет итоговый отчет, содержащий окончательные предложения по рекомендуемой величине взносов, на утверждение правительству Швеции.

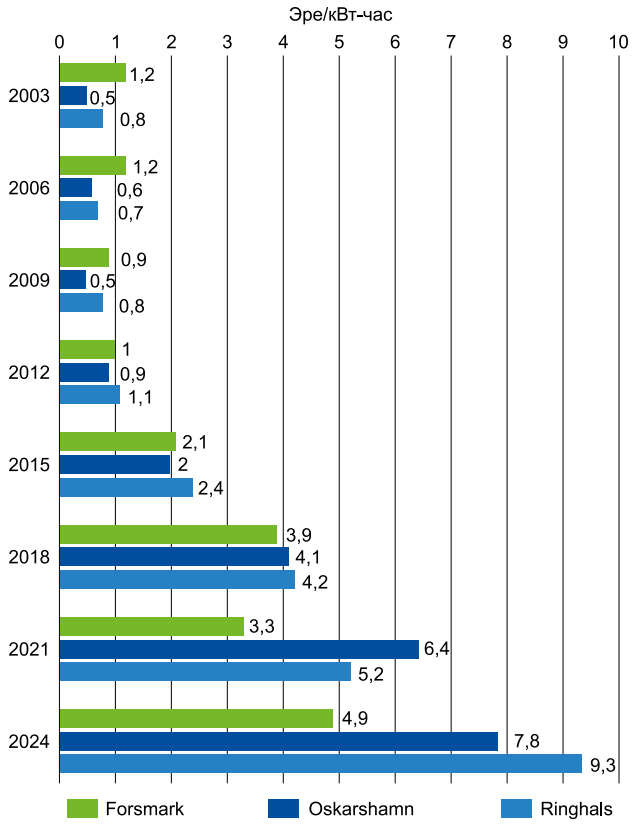

Рис. 3. Динамика изменения величины тарифов, взимаемых со шведских операторов АЭС [10]

На рис. 3 представлена динамика изменения тарифов для шведских операторов. За последние 5 лет для АЭС Форсмарк их рост составил 50 %, для АЭС Рингхальс — 80 %. При этом относительно 2018 года стала ярко прослеживаться дифференциация взносов между операторами. Такой рост цен объясняется рядом причин.

Во-первых, в 2022 году была проведена переоценка размера финансовых обязательств операторов шведских АЭС по обращению с РАО. В частности, именно для АЭС Рингхальс их объем был существенным образом недооценен. Стоимость всей программы по захоронению РАО и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на 120 миллиардов шведских крон выше, чем предполагалось 20 лет назад [11], причем из-за задержек и срыва изначально установленных сроков сооружения инфраструктурных объектов она может вырасти еще больше.

Во-вторых, еще одним фактором стало снижение выработки электроэнергии на АЭС Рингхальс из-за длительного простоя четвертого реакторного блока[1]. Кроме того, общий размер обязательств у этой АЭС (после переоценки затрат по ним и близости сроков их исполнения[2]) самый большой относительно остальных площадок.

В-третьих, влияние на тариф оказали растущая инфляция и повышение процентных ставок. Хотя это и привело к некоторому снижению оцениваемого размера обязательств, отрицательная доходность фонда ядерных отходов в 2022 году (–11 %) все же в итоге ограничила положительный эффект от влияния указанного фактора.

Франция неоднократно проводила переоценку стоимости проекта собственного ПГЗРО «Cigéo»[3] (данные по курсу евро 2012 года) [12]:

- 2005 год — от 13,5 до 16,5 млрд евро;
- 2009 год — 36 млрд евро;
- 2014 год — 34,4 млрд евро (19,8 млрд евро — строительство; 8,8 млрд евро — эксплуатация в течение следующих 100 лет; 4,1 млрд евро — налоговые сборы и 1,7 млрд евро — прочие расходы);
- 2025 год — от 26,1 до 37,5 млрд евро (7,9—9,6 млрд евро — строительство, включая затраты на проектирование (без НИОКР), от 16,5 до 25,9 млрд евро — на эксплуатацию, расширение и увеличение полезного объема ПГЗРО (от 140 до 220 млн евро в год в течение примерно 100 лет), от 1,7 до 2 млрд евро — стоимость НИОКР, в том числе расходы на функционирование и закрытие подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) в Бюр.

Основными причинами пересмотра затрат на реализацию французского проекта являются [13], [14]:

[1] Четвертый блок АЭС Рингхальс был остановлен на ежегодное техническое обслуживание и замену топлива в середине августа 2022 г. Во время проведения работ был поврежден корпус высокого давления, поэтому реактор мощностью 1 130 МВт не смог возобновить производство электроэнергии. В связи с проведением ремонта срок его перезапуска был отложен. Так, изначально планировалось, что реактор возобновит работу в январе 2023 г., но в итоге старт несколько раз переносили, что привело к росту цен на электроэнергию в стране.

[2] На период с 2025 по 2031 г. на площадке АЭС запланировано проведение работ по ВЭ первого и второго реакторных блоков.

[3] Проект Cigéo предполагает захоронение 70—80 тыс. куб. м высокоактивных (ВАО) и долгоживущих среднеактивных отходов (ДЖ-САО) на глубине около 500 метров в районе Бюр к востоку от Парижа. Ответственность за финансирование проекта, осуществляемого под руководством копании Andra, возложена на французских производителей РАО — компании EDF, Orano и CEA

Рис. 4. Проект французского ПГЗРО Cigéo [14]

- существенные изменения, внесенные непосредственно в сам проект ПГЗРО (рис. 4), которые коснулись конфигурации и геометрии подземных выработок (туннелей и вертикальных шахт, вспомогательных проходов и камер доступа, ячеек захоронения высокоактивных (ВАО) и долгоживущих среднеактивных отходов (ДЖ-САО) с усиленными конструкциями). Для того, чтобы снизить рост затрат на его создание был предложен целый ряд мер по технической оптимизации проекта, в том числе за счет использования более эффективных материалов, увеличения протяженности ячеек для захоронения РАО, уменьшения количества подземных галерей. Эти меры могут обеспечить экономию средств в размере до 3,6 млрд евро в зависимости от выбранного варианта;
- неопределенность в уровне будущей налоговой нагрузки на оператора ПГЗРО, в соответствии с принятой во Франции системой CIBS (фр. Code des Impositions sur les Biens et Services), которая закрепляет диапазон ставок или порогов налогообложения, применяемых при строительстве и эксплуатации крупных инфраструктурных объектов в стране. В отношении французского ПГЗРО их размер до сих пор не определен. Из-за разницы между их возможными нижними и верхними пределами, стоимость проекта может увеличиться на сумму до 7,4 млрд евро;
- рост затрат на реализацию НИОКР, оцениваемых еще в 0,3 млрд евро, в том числе связанных с планами по закрытию ПИЛ в Бюр. На этом этапе также предусмотрены дополнительные эксперименты и испытания по герметизации подземных выработок, изучению долгосрочной стабильности используемых материалов, оптимизации процедур закрытия и последующего мониторинга;
- хотя в последних результатах оценки не были учтены затраты на захоронение РАО, которые образуются в результате работы шести новых реакторов EPR2, анонсированных в 2022 году, в нее все же был включен «резерв», закладываемый на случай возможного увеличения объема подлежащих захоронению долгоживущих САО на 5% и ВАО — на 20%, что также сказалось на росте прогнозируемых затрат.

В настоящее время компания EDF — крупнейший оператор АЭС во Франции — отчисляет в фонд около 1,4 евро за МВт·ч на обращение с РАО и ВЭ [15]. Как и в Швеции, ожидается, что в связи с переоценкой стоимости проекта Cigéo, в скором времени тариф будет увеличен.

В этом контексте важно отметить, что изменения проектов объектов глубинного захоронения — это не признак их недоработки, а естественная эволюция сложнейших техно-социально-политических концепций. Они отражают:

1) накопление новых научных знаний;
2) повышение стандартов безопасности;
3) растущие требования общества к участию в принятии решений, затрагивающих их жизнь и окружающую среду;
4) политическую и экономическую реальность, в которой существуют эти многолетние инициативы.

Современный тренд — это отход от чисто технократического подхода к социотехническому, согласно которому приемлемость для общества является таким же ключевым критерием, как и геология.

Пример Великобритании интересен тем, что, как и в России, тарифы на захоронение РАО устанавливаются в расчете на единицу объема отходов (кубический метр), а не на единицу произведенной электроэнергии АЭС. Согласно последним данным из Service Price List компании LLW Repository Ltd (оператора ПЗРО НАО и САО), тарифы варьируются в зависимости от типа и активности отходов, а также от конструкции используемых контейнеров, но ориентировочно оплата составляет примерно 3000 фунтов стерлингов за кубометр РАО [20].

Что касается захоронения ВАО и ДЖ-САО, то подобных тарифов в Великобритании официально не установлено, поскольку проект создания ПГЗРО все еще находится на ранних этапах разработки и выбора площадки, а прогнозируемые затраты на его создание и эксплуатацию планируется покрывать за счет отчислений производителями РАО в специальные фонды, причем механизм и степень участия операторов зависят от того, к какому поколению относится конкретная АЭС.

Так, в случае существующих («старых») АЭС (в основном это реакторные установки типа Magnox и AGR, которые изначально находились

в государственной собственности или были приватизированы) ответственность за ВЭ и обращение с отходами лежит на Управлении по выводу из эксплуатации ядерных объектов (Nuclear Decommissioning Authority, NDA). Это правительственный орган, финансирование деятельности которого в основном осуществляется за счет государственного гранта, а также за счет коммерческих доходов.

Совсем иной механизм финансирования реализуется в отношении новых АЭС. Он получил название Waste Transfer Price (WTP) — это установленная стоимость, которую операторы новых ядерных объектов в Великобритании платят государству за передачу ВАО и ДЖ-САО на их окончательное захоронение в будущем ПГЗРО [21]. В связи с долгосрочным характером реализации проекта его создания, определение величины WTP представляет собой сложный итеративный процесс, направленный на максимально точное отражение фактических затрат с учетом возможных неопределенностей и долгосрочных рисков.

Процедура расчета опирается на следующие основные факторы:

1. Регулярно уточняемая оценка затрат на строительство, эксплуатацию и закрытие ПГЗРО, формируемая до 2022 года специалистами NDA, а позднее Nuclear Waste Services[1] (NWS) — новой дочерней компанией (или, точнее, исполнительным органом) NDA.

2. «Премия за риск» (англ. Risk Premium), позволяющая учесть значительные неопределенности в отношении размера будущих затрат на создание ПГЗРО и компенсировать риски налогоплательщикам.

3. «Отсрочка установления окончательной величины WTP» (англ. Deferral Period). Правительство Великобритании приняло решение, что установление конкретного размера WPT будет отложено на значительный период времени (до 30 лет после начала выработки электроэнергии на новой АЭС). Таким образом, к моменту его окончательного утверждения будет доступно значительно больше фактических данных о затратах на реализацию программы геологического захоронения РАО в Великобритании, что позволит снизить неопределенности и сделать оценку более точной.

4. «Ожидаемая цена» (англ. Expected Price), которую правительство установит для операторов на «период отсрочки». Эта прогнозная величина, пересматриваемая с определенной периодичностью, позволит операторам планировать затраты в рамках собственной деятельности с учетом будущей стоимости обязательств, связанных с созданием ПГЗРО.

5. «Потолок цены» (англ. Cap), или максимально возможный размер WTP, установление которого обеспечит инвесторам и операторам определенную финансовую предсказуемость и позволит некоторым образом ограничить для них риски. Иными словами, «потолок цены» — это верхний предел, определяющий максимальный размер выплат оператором, независимо от того, насколько сильно вырастут фактические затраты. Этот «потолок» устанавливается достаточно консервативно, позволяя покрыть значительные непредвиденные расходы.

6. Объективная оценка, реализуемая как в отношении методологии определения WTP, так и непосредственно самих затрат, которые должны регулярно пересматриваться и устанавливаться независимыми экспертами для обеспечения принципов прозрачности, надежности и справедливости.

В 2011—2012 годах WTP была доработана и утверждена в качестве официального механизма ценообразования в Великобритании, а чуть позднее закреплена и в положениях национальных нормативных документов. Одним из наиболее ярких примеров применения этого механизма является проект строящейся АЭС «Хинкли Пойнт С» (Hinkley Point C). В соответствии с концепцией величина WPT для оператора этой АЭС будет определена в дальнейшем, а пока в течение «периода отсрочки» будет действовать «ожидаемая цена». На данный момент для нее размер планируемых затрат на ВЭ и обращение с РАО учтен в рамках так называемой «страйк-цены»[2] (англ. Strike Price), первоначально установленной в размере £92,50/МВт·ч в ценах 2012 года, и составляет примерно £2/МВт·ч от нее [22].

Сводная информация по механизмам финансирования разных стран приведена в табл. 1.

[1] NWS была создана путем объединения трех ключевых организаций, ранее входящих в группу Nuclear Decommissioning Authority (NDA):
1) Radioactive Waste Management Ltd (RWM): отвечала за реализацию программы геологического захоронения ВАО и ДЖ-САО.
2) Low Level Waste Repository Ltd (LLWR): отвечала за эксплуатацию ПЗРО НАО и ОНАО в Камбрии.
3) NDA group's Integrated Waste Management Programme (IWMP): рабочая группа под эгидой NDA, деятельность которой была направлена на оптимизацию и интеграцию подходов к обращению с РАО в целом в рамках NDA.

[2] Страйк-цена — это заранее оговоренная цена за мегаватт-час (МВт·ч) электроэнергии, которую производитель (в данном случае АЭС) получает за свою продукцию. Этот механизм является частью Контракта на разницу (Contract for Difference, CfD), который широко используется в Великобритании для поддержки низкоуглеродных источников электроэнергии (включая атомную энергетику и возобновляемые источники).

Таблица 1. Механизмы финансирования программ по захоронению РАО разных стран [1], [18]

Страна	Схема финансирования	Тариф / размер отчислений	Размер фонда на последний год	Отдельный фонд на НИР/НИОКР	Рисковый резерв
Швеция	Фонд на обращение с РАО, ВЭ и НИОКР. Размер отчислений определяется ежегодно по тарифу за кВт/ч (для АЭС) или фиксированным платежом (для других ОИАЭ)	≈ 4–6 USD/МВт·ч (в среднем для операторов АЭС)	8,5 млрд USD	Нет. Исследования финансируются из средств Фонда РАО. Затраты на их проведение оцениваются в среднем в 1,5 млн евро в год	Есть. Помимо отчислений за каждый кВт произведенной электроэнергии от операторов АЭС требуется предоставление двух видов обязательств: • гарантии за «недопоступившие взносы» — они покрывают сборы, которые, хоть и были определены, но еще не уплачены в Фонд; • дополнительные сборы, предназначенные для возмещения расходов, возникающих из-за непредвиденных обстоятельств (до 10 % от суммы оцененных обязательств)
Финляндия	Аналогично Швеции	≈ 5 USD/МВт·ч (10 % от стоимости произведенной электроэнергии)	3,1 млрд USD	Есть. В том числе его средства идут на реализацию национальной программы SAFER2028 (на период 2023–2028 гг. — 8 146 467 евро выделено на прикладные исследования по ядерной безопасности и обращению с РАО)	Есть. Аналогично Швеции
Франция	Единого фонда нет. Реализуется механизм резервирования обязательств, который контролируется регулятором	≈ 2 USD/МВт·ч (резервирование для АЭС). Остальные платят по тарифам из «прейскуранта»	14 млрд USD, из них 10 млрд USD — на создание ПГЗРО CIGEO	Есть. Имеется отдельный «фонд исследований», средства которого идут на финансирование НИОКР, а также проектные исследования по созданию ПГЗРО. Формируется за счет налогов и сборов, взимаемых с производителей РАО (так, Andra ежегодно получает около 215 млн евро)	Нет. Основной механизм обеспечения финансовой безопасности основан на строгом контроле за формированием соответствующих сегрегированных фондов производителями РАО. В случае возникновения дефицита ответственность ложится на государство
Бельгия	Фонд по ОЯТ (ПГЗРО) — размер отчислений определяется по тарифу за кВт·ч (для АЭС), по РАО — за куб. м в зависимости от категории отходов	Данные не публикуются	420 млн USD	Нет. Исследования финансируются из средств Фонда РАО	Есть. Специальный фонд пополняется за счет дополнительного сбора, взымаемого со всех производителей отходов
Великобритания	Для «новых» АЭС единого фонда нет. Реализуется механизм резервирования обязательств у эксплуатирующей организации, который контролируется регулятором	≈ 2 USD/МВт·ч (ВЭ и обращение с РАО)	н/д	Нет. Средства выделяются напрямую из общего бюджета NDA (госбюджет)	Есть. WTP учитывает риски в рамках «Премии за риск»
Канада	Есть отдельный единый фонд по ОЯТ. В остальном средства резервируются у операторов	Корректируется ежегодно с учетом обновленных данных по стоимости проекта	4 млрд USD	Нет. Исследования финансируются из средств Фонда ОЯТ	Нет. В случае нехватки средств владельцы отходов всегда будут нести полную ответственность за устранение дефицита
Япония	Три фонда: ВЭ, ОЯТ, захоронение ВАО. Взносы перечисляют операторы АЭС	≈ 5 USD/МВт·ч	10–11 млрд USD	Нет	Нет
Швейцария	Фонд на захоронение РАО. Взносы перечисляют операторы АЭС	Данные не публикуются	6 млрд USD	Нет	До 2015 года был установлен страховой запас (safety margin) в размере 30 %. Позднее он был отменен, так как новая методология расчета затрат и так учитывает возможные неопределенности

Финансирование зарубежных программ исследований

Анализ зарубежных практик показывает, что расходы на научно-исследовательские программы, являющиеся неотъемлемой частью любого проекта по сооружению и эксплуатации ПЗРО, оцениваются и учитываются при расчете целевых взносов операторов в общей совокупности затрат. Финансирование таких работ осуществляется либо из отдельного фонда, созданного специально для НИР и НИОКР (Финляндия, Франция), либо из общего фонда по захоронению РАО (Швеция, Бельгия). Например, в Швеции и Финляндии затраты на проведение исследований оцениваются в среднем в 1,7 млн долл. США в год, французская Andra получает около 250 млн долл. США в год (табл. 2).

Таблица 2. Некоторые примеры затрат на зарубежные программы исследований по геологическому захоронению [1]

Бельгия
Общая стоимость НИОКР по геологическому захоронению, включая затраты на создание подземной лаборатории High Activity Disposal Experimental Site (HADES), за период с 1974 по 2014 годы оценивается в 450 миллионов долларов США или 15 миллионов долларов США в год
Канада
Эксперты NWMO оценивают затраты на создание пункта захоронения ОЯТ в 1,3 миллиарда долларов США
Китай
На НИОКР, направленные на обоснование безопасности и разработку концептуального проекта ПГЗРО в Бейшане, буферного материала и моделей переноса радионуклидов, было потрачено 98 миллионов долларов США
Франция
Ежегодно Andra получает финансирование в размере свыше 250 миллионов долларов США в год на проведение НИОКР и проектные исследования в рамках реализации собственной программы по созданию ПГЗРО
Германия
Заброшенная шахта по добыче железной руды Конрад в настоящее время переоборудуется в ПГЗРО, предназначенный для захоронения радиоактивных отходов с незначительным тепловыделением. Расходы на проектирование и изучение площадки объекта с 1977 по конец 2007 года составили приблизительно 1,2 миллиарда долларов США
Япония
NUMO потратила 130 миллионов долларов США на НИОКР при годовом бюджете в 10 миллионов долларов США, выделенном на проведение НИОКР сторонними подрядчиками. По оценкам NUMO 2,3 и 3,6 миллиарда долларов США соответственно уйдут на НИОКР и проведение характеризации площадки, а также приобретение земельного участка. В эту сумму заложены затраты на проведение следующих работ: исследование десяти потенциально пригодных участков на основе обзора литературных источников, проведение предварительных исследований на пяти участках и подробное изучение одного единственного участка, а также затраты на строительство ПИЛ в размере 580 миллионов долларов США

Окончание табл. 2

Словакия
JAVYS отвечает за координацию деятельности, направленную на создание ПГЗРО для ОЯТ и долгоживущих САО. В рамках данного проекта на проведение НИОКР в 2018–2020 гг. было выделено 5,6 млн долларов США
Швеция
По состоянию на 2017 год, затраты на проведение НИОКР, направленных на создание ПГЗРО ОЯТ, включая эксплуатацию ПИЛ Äspö, а также затраты на поиск площадки и проектирование самого ПГЗРО в общей сложности составили 1,5 млрд долларов США
США
С 1983 по 2006 год затраты на разработку и оценку безопасности проекта ПГЗРО составили 8 млрд долларов США, в том числе эти затраты включают все расходы, связанные с проведенной в 1980-х годах оценкой различных геологических формаций, а также с разработкой концептуального проекта ПГЗРО и характеризацией площадки в рамках проекта Якка-Маунтин. Позже проект был приостановлен

Заключение

Таким образом, несмотря на общность принципов, провозглашенных на международном уровне, практические модели формирования и управления целевыми фондами для финансирования деятельности в области захоронения РАО в разных странах демонстрируют значительные различия. Они касаются вопросов институционального устройства, методологии расчета взносов, стратегий инвестирования накопленных средств и степени государственного контроля. Именно поэтому, в силу принципиальных отличий ценообразования, возможности прямого переноса зарубежного опыта между странами весьма ограничены.

На сегодняшний день в большинстве государств с развитой атомной энергетикой вопросы финансирования деятельности по захоронению РАО проработаны на достаточно высоком уровне: по мере приобретения опыта явно прослеживается эволюция методов оценки затрат, внедрены надежные механизмы обеспечения обязательств и управления рисками и неопределенностями, установлен надзор за использованием средств по целевому назначению. В целом это позитивный нарратив. С другой стороны, зарубежными экспертами неоднократно высказывались опасения по поводу того, что текущие прогнозы не охватывают весь объем будущих обязательств, а потенциальные неопределенности и риски не учитываются в экономических моделях должным образом.

При этом технический пересмотр проектов, как основной фактор актуализации затрат, — это не признак их слабости, а наоборот, свидетельство зрелости подхода к проектированию. Он демонстрирует, что система научного

и инженерного обоснования безопасности работает: новые данные, полученные в ходе углубленных исследований, используются в целях постоянного улучшения и адаптации проекта для гарантии долгосрочной безопасности. В этом смысле тонкая настройка механизмов финансирования становится «делом поколений».

Литература

1. IAEA, Costing Methods and Funding Schemes for Radioactive Waste Disposal Programmes, Nuclear Energy Series No. NW-T-1.25, 2020.
2. *Цебаковская Н. С., Уткин С. С., Капырин И. В. и др.* Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО / Под общ. ред. И. И. Линге, Ю. Д. Полякова. — М. : Комтехпринт, 2015. 208 с.
3. *Ильясов Д. Ф., Иванов А. Ю.* Экономика и цифровизация вывода из эксплуатации объектов ядерного наследия: монография / Под общ. ред. И. И. Линге. — М. : РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2024. 220 с.
4. United States Government Accountability Office, Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Program Costs, GAO-20-195G, USGAO, Washington, DC, 2020.
5. NEA/OECD and IAEA, Addressing Uncertainties in Cost Estimates for Decommissioning Nuclear Facilities, NEA No. 7344, OECD, 2017.
6. U.S. Department of Energy, Risk Management Guide, DOE G 413.3-7A, 2015.
7. HM Treasury, The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation. Treasury Guidance, 2020.
8. Guidance on Cost assessment and Financing Schemes of Radioactive Waste Management Programmes D12.4 of the HORIZON 2020 project EURAD. EC Grant agreement no: 847593. 2021.
9. Nuclear waste fees and collateral amounts, Proposed nuclear waste fees, credit risk amounts and risk margins for reactor owners 2024—2026, THE SWEDISH NATIONAL DEBT OFFICE, Nuclear waste fees and collateral amounts, 2023.
10. Sweden's Eighth National Report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management Sweden's implementation of the obligations of the Joint Convention Ds 2024:17.
11. URL: https://www.svt.se/nyheter/inrikes/kalkylerna-spricker-annu-dyrare-att-lagra-karnavfallet (дата обращения: 15.10.2025).
12. Andra updates French repositor y cost estimate, World Nuclear News. — URL: https://www.world-nuclear-news.org/articles/andra-updates-french-repository-cost-estimate (дата обращения: 15.10.2025).
13. Cigéo project cost could reach €37.5bn according to Andra, Energy News. — URL: https://energynews.pro/en/cigeo-project-cost-could-reach-e37-5bn-according-to-andra/ (дата обращения: 15.10.2025).
14. Nuclear waste: Cigéo's cost now estimated between €26 and €37 billion over 150 years, Sfen in English. — URL: https://sfeninenglish.org/cigeo-nuclear-waste-disposal-cost-2025-estimate / (дата обращения: 16.10.2025).
15. France's seventh national report on compliance with the joint convention. Joint Convention on the safety of the management of spent fuel and on the safety of the management of radioactive waste.
16. Tarifs de collecte pour les colis de déchets conformes aux spécifications du guide d'enlèvement Tarifs en euros applicables au 1er janvier 2024 en France métropolitaine, ANDRA.
17. Consolidated financial statements at 31 December 2024, EDF, 2024.
18. Ensuring the Adequacy of Funding Arrangements for Decommissioning and Radioactive Waste Management, Nuclear Technology Development and Economics 2021, NEA No. 7549, OECD. 2021.
19. Protecting future generations Annual report and accounts 2024, Nuclear Liabilities Fund Limited nlf.uk.net.
20. Service Price List LLW Repository Ltd, March 2018. — URL: https://www.yumpu.com/en/document/read/52070704/service-price-list-1-april-2013-to-31-march-2018-low-level-waste.
21. Waste Transfer Pricing Methodology for the disposal of higher activity waste from new nuclear power stations, Department of Energy and Climate Change, URN 11D/923, 2011.
22. Hinkley Point C Funded Decommissioning Programme, Policy Paper, 2016. — URL: https://www.gov.uk/government/publications/hinkley-point-c-funded-decommissioning-programme (дата обращения: 17.10.2025).

Информация об авторе

Кузнецова Екатерина Олеговна, главный специалист, Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 24), e-mail: ekokuznetsova@rosatom.ru.

Библиографическое описание статьи

Кузнецова Е. О. Технико-экономические особенности формирования целевых фондов в области захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2025. №4(33). С. 53—63. DOI: 10.25283/2587-9707-2025-4-53-63.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS IN THE ESTABLISHMENT OF TARGET RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FUNDS

Kuznetsova E. O.

State Corporation "Rosatom", Moscow, Russia

Article received on October 20, 2025

This paper evaluates the international practices associated with radioactive waste (RW) disposal funding mechanisms and their specific features influenced by scientific and engineering approaches and existing national systems established in the nuclear power sector. It demonstrates quite notable differences in the practical models according to which target funds for RW disposal are established and managed in different countries. Costs for R&D programs, which are viewed as integral parts of any RW disposal project providing for construction and operation of a RW disposal facility, are evaluated and included in the calculations of target contributions paid by operators within the overall cost base. Moreover, many countries opt for a "risk reserve" mechanism to cover some unforeseen costs under long-term projects.

Keywords: *radioactive waste, feasibility study, RW disposal funding, international funds for RW management.*

References

1. IAEA, Costing Methods and Funding Schemes for Radioactive Waste Disposal Programmes, Nuclear Energy Series No. NW-T-1.25, 2020.
2. Tsebakovskaya N. S., Utkin S. S., Kapyrin I. V. et al. *Obzor zarubezhnykh praktik zakhoroneniya OYAT i RAO* [Overview of International Practices in SNF and RW Disposal]. Edt. by I. I. Linge, Yu. D. Polyakov. Moscow, Komtekhprint Publ., 2015. 208 p.
3. Ilyasov D. F., Ivanov A. Yu. *Ekonomika i tsifrovizatsiya vyvoda iz ekspluatatsii ob"yektov yadernogo naslediya: monografiya* [Economics and digitalization of decommissioning of nuclear heritage sites]. Edited by I. I. Linge. Moscow, Plekhanov Russian University of Economics Publ., 2024. 220 p.
4. United States Government Accountability Office, Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Program Costs, GAO-20-195G, USGAO, Washington, DC, 2020.
5. NEA/OECD and IAEA, Addressing Uncertainties in Cost Estimates for Decommissioning Nuclear Facilities, NEA No. 7344, OECD, 2017.
6. U.S. Department of Energy, Risk Management Guide, DOE G 413.3-7A, 2015.
7. HM Treasury, The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation. Treasury Guidance, 2020.
8. Guidance on Cost assessment and Financing Schemes of Radioactive Waste Management Programmes D12.4 of the HORIZON 2020 project EURAD. EC Grant agreement no: 847593. 2021.
9. Nuclear waste fees and collateral amounts, Proposed nuclear waste fees, credit risk amounts and risk margins for reactor owners 2024–2026, THE SWEDISH NATIONAL DEBT OFFICE, Nuclear waste fees and collateral amounts, 2023.
10. Sweden's Eighth National Report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management

Sweden's implementation of the obligations of the Joint Convention Ds 2024:17.
11. URL: https://www.svt.se/nyheter/inrikes/kalkylerna-spricker-annu-dyrare-att-lagra-karnavfallet (accessed on: 15.10.2025).
12. Andra updates French repository cost estimate, World Nuclear News. — URL: https://www.world-nuclear-news.org/articles/andra-updates-french-repository-cost-estimate (accessed on: 15.10.2025).
13. Cigéo project cost could reach €37.5bn according to Andra, Energy News. — URL: https://energynews.pro/en/cigeo-project-cost-could-reach-e37-5bn-according-to-andra/ (accessed on: 15.10.2025).
14. Nuclear waste: Cigéo's cost now estimated between €26 and €37 billion over 150 years, Sfen in English. — URL: https://sfeninenglish.org/cigeo-nuclear-waste-disposal-cost-2025-estimate/ (accessed on: 16.10.2025).
15. France's seventh national report on compliance with the joint convention. Joint Convention on the safety of the management of spent fuel and on the safety of the management of radioactive waste.
16. Tarifs de collecte pour les colis de déchets conformes aux spécifications du guide d'enlèvement Tarifs en euros applicables au 1er janvier 2024 en France métropolitaine, ANDRA.
17. Consolidated financial statements at 31 December 2024, EDF, 2024.
18. Ensuring the Adequacy of Funding Arrangements for Decommissioning and Radioactive Waste Management, Nuclear Technology Development and Economics 2021, NEA No. 7549, OECD. 2021.
19. Protecting future generations Annual report and accounts 2024, Nuclear Liabilities Fund Limited nlf.uk.net.
20. Service Price List LLW Repository Ltd, March 2018. — URL: https://www.yumpu.com/en/document/read/52070704/service-price-list-1-april-2013-to-31-march-2018-low-level-waste.
21. Waste Transfer Pricing Methodology for the disposal of higher activity waste from new nuclear power stations, Department of Energy and Climate Change, URN 11D/923, 2011.
22. Hinkley Point C Funded Decommissioning Programme, Policy Paper, 2016. — URL: https://www.gov.uk/government/publications/hinkley-point-c-funded-decommissioning-programme (accessed on: 17.10.2025).

Information about the author

Kuznetsova Ekaterina Olegovna, Chief Specialist, State Corporation "Rosatom" (24, Bolshaya Ordynka st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: ekokuznetsova@rosatom.ru.

Bibliographic description

Kuznetsova E. O. Technical and Economic Aspects in the Establishment of Target Radioactive Waste Disposal Funds. *Radioactive Waste,* 2025, no. 4 (33), pp. 53—63. DOI: 10.25283/2587-9707-2025-4-53-63. (In Russian).