

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ОПЕРАЦИЙ ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАО НА РОССИЙСКОМ И МЕЖДУНАРОДНОМ РЫНКАХ

Д. Ф. Ильясов, А. Ю. Иванов, Е. О. Кузнецова, А. С. Будунова,
П. О. Степанян, А. А. Михайленко

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 17 ноября 2020 г.

В статье представлен обзор стоимости операций по обращению с РАО в различных странах по следующим направлениям: переработка, контейнеризация, временное хранение, транспортировка, захоронение. Для проведения корректного сравнительного анализа все данные приведены к сопоставимому виду с применением различных экономико-математических методов. В заключении представлены результаты сопоставления стоимости операций по обращению с РАО в России и других странах и обсуждаются возможные причины их различий.

Ключевые слова: стоимость операций, затраты, обращение с РАО, сравнительный анализ, классификации РАО, экономико-математические методы, радиоактивные отходы.

Целью проводимого в данном исследовании анализа является сопоставление стоимости операций по обращению с РАО на российском и международном рынках для оценки объективности и обоснованности затрат на эти работы на территории Российской Федерации и определения потенциала их снижения. Для достижения указанной цели проведен сбор и систематизация данных из открытых источников о стоимости операций по обращению с РАО в различных странах, реализованы методы приведения расценок к сопоставимому виду, выполнен сравнительный анализ и сформированы выводы.

Представленные в статье верхнеуровневые стоимостные оценки по странам и их сравнение — это первый шаг в рамках комплексного исследования по стандартизации процессов по обращению с РАО и определению их корректной рыночной стоимости в регионах России для

решения задач долгосрочного планирования издержек, резервирования необходимого объема средств и обеспечения устойчивого финансирования этой деятельности. Стоит отметить, что проведение структурного анализа затрат по различным странам позволило бы сформировать более корректные выводы о причинах расхождения стоимости, однако его выполнение становится проблематичным ввиду скрытости детальной информации и отсутствия ее в открытых источниках.

Сбор и обработка исходной информации о стоимости операций по обращению с РАО и приведение ее к сопоставимому виду

Сбор и систематизация данных о стоимости операций по обращению с РАО в зарубежных странах осуществлялись на основе анализа

материалов из открытых источников ввиду того, что подобная информация в основном является коммерческой тайной и при ее запросе специализированные организации отвечали отказом. В итоге было изучено около 50 зарубежных источников, на основе которых прямыми и косвенными методами были получены стоимостные оценки по следующим направлениям работ: переработка, контейнеризация, хранение, транспортировка и захоронение РАО.

При анализе использовались материалы по США, Германии, Великобритании и Италии. Для корректности сравнения с российскими расценками выполнены следующие процедуры сопоставления:

1. Единицы измерения, используемые в различных странах (например, доллар/куб. фут; долл./галлон), переведены в привычные для России (руб./куб. м). Для справки: 1 куб. м = 35,315 куб. фут, 1 куб. м = 264 галлона. Курс иностранной валюты принимался на уровне среднегодовых значений за 2019 г.: 1 долл. США = 64,66 руб.; 1 евро = 72,41 руб.; 1 фунт стерлингов = 82,55 руб.; 1 австралийский доллар = 44,98 руб. [8].

2. Все стоимостные оценки из различных источников, актуальные на год t ($t < 2019$), были приведены к уровню цен 2019 г. путем их наращивания с учетом накопленного уровня инфляции по данным органов государственной статистики соответствующей страны за период между t и 2019 г.

3. Для учета изменения стоимости операций по обращению с РАО со временем в различных странах, обусловленного не процессом инфлирования цен (то есть изменением ценности денежной массы), а удорожанием или удешевлением самих технологий, в расчеты закладывается предположение, что этот фактор в среднем может влиять на изменение цены на $\pm 1\%$ в год. Таким образом, при приведении стоимости к сопоставимым ценам 2019 г. рассчитывается доверительный интервал, в котором верхняя и нижняя границы определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} P_{2019}^{вг} &= P_t \cdot I_t^{2019} \cdot (1,01)^{2019-t}, \\ P_{2019}^{нг} &= P_t \cdot I_t^{2019} \cdot (0,99)^{2019-t} \end{aligned} \quad (1)$$

где $P_{2019}^{вг}$, $P_{2019}^{нг}$ — верхняя и нижняя границы стоимости операции в ценах 2019 г., P_t — стоимость операции, указанная в источнике, актуальная на год t , I_t^{2019} — накопленный индекс инфляции в стране за период от t до 2019 г., рассчитанный на базе ресурсов [9, 10].

В качестве основных источников данных о стоимости операций по обращению с РАО на территории России использовались отчеты

организаций — исполнителей государственных контрактов, связанных с работами по приведению РАО к критериям приемлемости для захоронения, а также запросы в организации, специализирующиеся на работах по обращению с РАО.

На стоимость операций по обращению с РАО существенно влияют их типы, текущее состояние и категории. В связи с этим также целесообразно детально рассмотреть системы классификаций РАО в странах, участвующих в анализе, для повышения обоснованности сопоставления стоимости и формирования более качественных выводов. Подробно критерии отнесения РАО в различных странах описаны в [1].

Особенности классификации РАО в различных странах

Классификация РАО в США схематично представлена на рис. 1. В отличие от привычной классификации в России, коммерческие РАО разделены на ВАО и НАО, которые, в свою очередь, подразделяются еще на классы А, В, С, GTCC (greater than class C — с удельной активностью выше, чем у класса С). Стоит отметить, что американская система классификации коммерческих РАО учитывает источники образования отходов и базируется на принципе разделения ответственности между DOE (Министерство энергетики США) и NRC (Комиссия по ядерному регулированию США) за регулирование конечных стадий обращения с РАО (захоронение РАО). Такой подход к классификации РАО подвергается критике уже на протяжении многих лет. К примеру, многие американские специалисты отмечают, что одно только название категории «низкоактивные отходы» способно ввести в заблуждение. Фактически РАО класса С сопоставимы с привычными в РФ CAO, а НАО класса GTCC имеют активность, сопоставимую с высокоактивными РАО [1].

Ранее в Германии РАО классифицировались по трем категориям в зависимости от удельной активности: ВАО, CAO и НАО. В соответствии с новой классификацией РАО разделяются на два

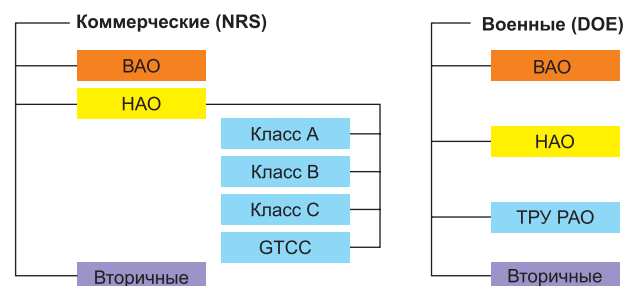


Рис. 1. Классификация РАО в США

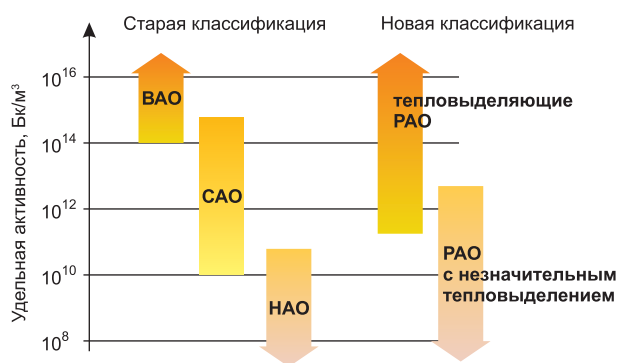


Рис. 2. Классификация РАО в Германии

класса — тепловыделяющие РАО и РАО с незначительным тепловыделением (рис. 2) [1].

Классификация РАО в Великобритании наиболее схожа с принятой в России, где выделяется 4 категории отходов: ВАО, САО, НАО и ОНРАО.

В Италии РАО классифицируются по трем категориям в зависимости от их характеристик и концентрации радионуклидов:

Категория I — отходы, сопоставимые с ОНРАО в международной классификации.

Категория II — отходы, сопоставимые с короткоживущими НАО в международной классификации. К отходам категории II относятся отходы, которые в течение нескольких десятков или сотен лет достигнут удельной активности в несколько сотен Бк/г.

Категория II, в свою очередь, подразделяется на две субкатегории:

1) твердые отходы, активность которых ниже установленных лимитов. Данный тип отходов может быть утилизирован без кондиционирования;

2) отходы, активность которых выше установленных лимитов. Данный тип отходов не может быть утилизирован без кондиционирования.

Категория III — отходы, сопоставимые с САО и ВАО в международной классификации [2].

В рамках текущего анализа сравнение стоимости операций преимущественно проводилось для НАО и САО согласно категорированию в РФ (в США — категория НАО (классы А, В и С), в Германии — РАО с незначительным тепловыделением, в Великобритании — НАО и САО, в Италии — категории I и II).

Анализ удельной стоимости

Переработка РАО

Переработка РАО, как правило, составляет наибольшую часть общей стоимости полного цикла приведения РАО к критериям приемлемости для захоронения. Удельные стоимостные оценки работ по переработке РАО представлены в отчете Аргоннской национальной лаборатории США «Удельная стоимость работ по обращению с отходами» [3]. В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа удельной стоимости операций по переработке РАО в России и США. Удельные значения по каждой операции представлены в широком диапазоне, поскольку имеют достаточно высокий разброс в зависимости от установки и типа РАО. Но даже с учетом этого фактора, исходя из данных, представленных в табл. 1, видно, что удельная стоимость операций по обращению с РАО в США в несколько раз выше, чем в России.

Таблица 1. Удельная стоимость операций по переработке РАО в США и России

Операция	США			РФ	
	Категория РАО	Удельная стоимость в ценах 1994 г., \$/куб. фут	Удельная стоимость в ценах 2019 г., тыс. руб./куб. м	Категория РАО	Удельная стоимость в ценах 2019 г., тыс. руб./куб. м
Прессование	НАО	105	323–529	НАО/САО	до 500
Сжигание	НАО	424	1 303–2 138	НАО/САО	150–460
Измельчение	НАО	145	446–731	НАО/САО	50–115
Отверждение (цементирование)	НАО	346	1 063–1 745	НАО/САО	20–115
Плавление металлов	НАО	568	1 745–2 864	НАО/САО	70–90
Упаривание	–	–	–	НАО/САО	70–80
Прессование	трансуран. отходы	105–158	323–796	–	–
Отверждение (цементирование)	трансуран. отходы	164–257	504–1 295	–	–
Сжигание	трансуран. отходы	630–1050	1 936–5 294	–	–

Контейнеризация

Сводная информация о стоимости контейнеров, используемых при обращении с РАО в зарубежных странах, отражена в табл. 2. На основании представленных данных можно сделать вывод о том, что внутри одной категории РАО стоимость зарубежного контейнера весьма неоднородна. Например, в Италии диапазон стоимости контейнера для НАО варьируется от 50 тыс. до 12 млн руб., в Великобритании для

САО — от 3 до 12 млн руб. В Германии стоимость контейнеров для РАО с незначительным остаточным тепловыделением (эквивалентны НАО и САО в международной классификации) составляет около 500 тыс. руб.

Российские контейнеры, как и европейские, имеют достаточно широкий разброс цен, однако в целом их стоимость на порядки ниже. В табл. 3 приведены примеры стоимости некоторых контейнеров по данным портала государственных

Таблица 2. Стоимость контейнеров в зарубежных странах в ценах 2019 г. (за 1 шт.)

Контейнер	Объем внутр., куб. м	Объем внешн., куб. м	Стоимость за 1 шт., тыс. руб.	Тип/категория РАО	Страна
1000-литровые бочки	1	1,68	54–78	НАО, не требующие кондиционирования	Италия [4]
Контейнеры 3,7 куб. м	3,7	5,2	4809–6953	металлические НАО, требующие кондиционирования	Италия [4]
Контейнеры 8,2 куб. м	8,2	10,8	8416–12168	не металлические НАО, требующие кондиционирования	Италия [4]
Gusscontainer	3,1	5,4	9218–13327	САО и ВАО	Италия [4]
DAW Drums	0,22	0,25	12–17	спрессованные	Италия [4]
Контейнеры, принимаемые в ПЗРО Конрад	–	–	515–547	РАО с незначительным остаточным тепловыделением – НАО и некоторые САО	Германия [5]
Металлический (нержавеющий) незащитный контейнер	2,8	3,7	3846–4084	САО	Великобритания [6]
Чугунный защитный контейнер DCIC	2,4	3,7	11966–12706	САО	Великобритания [6]
Железобетонный защитный контейнер	5	11,9	2564–2723	САО	Великобритания [6]
Чугунный защитный контейнер DCIC	8,7	10,7	10256–10891	САО	Великобритания [6]

Таблица 3. Стоимость контейнеров в РФ согласно данным [12] (за 1 шт.)

№ Закупки	Заказчик	Тип контейнера	Сведения о РАО	Объем внутр., куб. м	Стоимость, тыс. руб.
32009374703, 32009195147, 31908727946, 31908421056	АО «Концерн Росэнергоатом»	Контейнер МК-0,2	Высококонцент. кристаллизованные РАО (ЖРО)	0,20	22,9–25,2
32009193151, 32008939420, 31908713846	АО «ГНЦ НИИАР», ФГУП «Атомфлот», ФГУП «ФЭО»	Контейнеры типа НЗК-150-1,5П	НАО, САО 3 класс	1,50	177–189,6
32009237885, 32008882645	АО «Концерн Росэнергоатом»	Контейнер НЗК-150-1,5П 345 МЗ	НАО, САО 3 класс	1,50	279,1–314,2
32009237885	АО «Концерн Росэнергоатом»	Контейнер НЗК-150-1,5П Л.65.555.00.000	НАО, САО 3 класс	1,50	124,3–162,6
31908593839	АО «Концерн Росэнергоатом»	Контейнер КРАД-1,36	4 класс	1,40	69,6
32009193151, 32008868037	АО «ГНЦ НИИАР», ФГУП «ФЭО»	Контейнер металлический защитный КМЗ	НАО, САО 3 класс	3,10	176,1–246,2
32008853932	ФГУП «Атомфлот»	Контейнер специальный «ПУ-2СТК-СК вариант А»	НАО	30,00	978
32009062498, 32008942771	ФГУП «ФЭО»	Контейнеры железобетон.	НАО, САО 3 класс	1,50–1,90	158,3–189,6

закупок РФ [12]. Так, стоимость контейнеров для НАО и САО, относящихся к 3 классу, варьируется от 120 до 320 тыс. руб., стоимость контейнера РАО для 4 класса составляет около 70 тыс. руб.

Временное хранение

Стоимость временного хранения РАО во многом зависит от типа пункта хранения. В табл. 4 представлены оценки удельных затрат (тарифов) на хранение РАО в зависимости от типа пункта хранения в РФ. Средняя оценочная стоимость временного хранения 1 куб. м РАО в РФ составляет 3 500 руб.

Таблица 4. Оценка тарифов на хранение в РФ в ценах 2019 г.

Тип ПХ	Тариф, руб./куб. м
Здания специализированные	1 185
Контейнеры и емкости	3 500
Сооружения с инженерными защитными барьерами	193

Согласно [5] в Германии на хранение 1 куб. м отходов категории САО или НАО требуется 29 тыс. руб. В США стоимость хранения 1 куб. м ВАО может варьироваться от 20 до 200 тыс. руб. в зависимости от мощности хранилища. Использование хранилища траншейного типа стоит около 300–800 тыс. руб./куб. м; при применении дистанционных технологий обращения стоимость может составлять до 5 млн руб./куб. м (табл. 5).

Таблица 5. Тарифы на хранение в США в ценах 2019 г. [3]

Технология	Категория	Стоимость, руб./куб. м
Хранение в баках (26·10 ⁶ галлонов)	НАО, ВАО	126 000–207 000
Хранение в баках (60,8·10 ⁶ галлонов)	НАО, ВАО	80 000–132 000
Хранение в баках (2,75·10 ⁶ галлонов)	НАО, ВАО	21 000–34 000
Хранение в траншейном хранилище, контактная обработка	трансурановые отходы	323 000–529 000
Хранение в траншейном хранилище, дистанционная обработка	трансурановые отходы	165 000–5 193 000

Транспортировка

Затраты на транспортировку 1 куб. м РАО в Великобритании оцениваются в диапазоне 108–115 тыс. руб. согласно [6]. Для сравнения

в табл. 6 представлены тарифы на транспортировку в США в зависимости от расстояния.

Таблица 6. Затраты на транспортировку в США в ценах 2019 г.

Расстояние	Стоимость, руб./куб. м
до 500 км в одну сторону	3 000–8 000
500–800 км в одну сторону	7 000–12 000
от 800 км в одну сторону	9 000–15 000

Анализ затрат на транспортировку РАО в РФ показал, что удельная стоимость значительно варьируется в зависимости от маршрута. При этом закономерности в изменении удельной стоимости перевозки 1 куб. м РАО на 1 км от общего расстояния маршрута в РФ, как в США, не выявлено. Затраты на транспортировку в РФ оцениваются в диапазоне от 7 до 90 руб./куб. м на 1 км, среднее значение составляет 20–30 руб./куб. м на 1 км. Таким образом, в среднем для перевозки 1 куб. м РАО на расстояние в 600 км потребуется около 12–18 тыс. руб., что приблизительно на 50% дороже, чем в США.

Захоронение

Сводные данные по стоимости захоронения РАО в зарубежных странах в зависимости от категории РАО представлены в табл. 7.

Оценки стоимости захоронения РАО за рубежом имеют достаточно высокий уровень вариативности. В РФ категория НАО может соответствовать 4 или 3 классам, для которых тариф на захоронение в 2019 г. составляет 46 тыс. руб./куб. м и 152 тыс. руб./куб. м (см. табл. 8). Стоимость захоронения САО в Великобритании составляет от 300 до 1000 тыс. руб./куб. м, в США для ВАО диапазон варьируется от 400 до 1 млн руб./куб. м. В РФ стоимость захоронения РАО 1 и 2 классов (ВАО, некоторые САО) составляет 1,5 млн руб./куб. м и 600 тыс. руб./куб. м соответственно.

В рамках настоящего исследования также были сопоставлены затраты на обращение с РАО по полному циклу приведения их к критериям приемлемости для захоронения на основе анализа различных зарубежных и российских проектов. Исходя из представленных в табл. 9 данных, можно сделать вывод, что стоимость типовых работ по обращению с РАО в европейских проектах по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии может отличаться на несколько порядков. Так, в Швейцарии и Великобритании затраты на обращение с САО превосходят затраты в РФ в 2–4 раза, а стоимость в Швеции можно считать сопоставимой.

Таблица 7. Стоимость захоронения РАО в зарубежных странах в ценах 2019 г.

Категория/класс РАО	Технология/тип ПЗРО	Страна	Стоимость, тыс. руб./куб. м
НАО, не требующие кондиционирования		Италия [4]	572–827
НАО, класс А строительные конструкции (например, бетон, металлолом и т. д.)	Захоронение РАО от ВЭ	США [7]	149–186
НАО, класс А крупногабаритные компоненты	Захоронение РАО от ВЭ	США [7]	613–763
НАО, класс В и С	Захоронение РАО от ВЭ	США [7]	7–9
НАО	Приповерхностные траншеи	США [7]	43–862
НАО	Бетонные сооружения	США [7]	209–343
НАО	Поверхностные пункты захоронения	США [7]	387–635
НАО	Подземные пункты захоронения	США [7]	584–958
НАО	Бетонные контейнеры	США [7]	630–1034
НАО	Траншейные хранилища с инженерными барьерами	США [7]	750–11 002
САО, захоронение в незащитном контейнере	Захоронение в незащитном контейнере	Великобритания [6]	895–951
САО, захоронение в защитном контейнере	Захоронение в защитном контейнере	Великобритания [6]	335–356
ВАО		США [3]	383–957
Трансурановые отходы	Неглубокие наземные траншеи	США [3]	301–2 027
Трансурановые отходы	Глубинное геологическое	США [3]	1 936–3 933

Таблица 8. Тарифы на захоронение РАО в РФ в 2019 г.

Класс РАО	Вид пункта захоронения	Стоимость, тыс. руб./куб. м
1	Пункт глубинного захоронения в геологические формации	1 424
2	Пункт глубинного захоронения в геологические формации	662
3	Приповерхностный пункт захоронения РАО	152
4	Приповерхностный пункт захоронения РАО с облегченными требованиями	46

Таблица 9. Бенчмаркинг затрат на обращение с САО [11]

Страна	Стоимость в 2015 г., тыс. AUD/куб. м	Стоимость в 2019 г., тыс. руб./куб. м
Швейцария	43,99	2 031–2 112
Швеция	15,83	731–760
Великобритания	36,94	1 706–1 774
Россия	–	450–990

Заключение

На основании результатов сравнительного анализа зарубежных и российских стоимостных оценок операций по обращению с РАО можно сделать следующие выводы:

- переработка РАО: в среднем в 5–15 раз дороже в США, чем в РФ, однако разница может быть и выше, ввиду того, что в США перерабатываются практически все РАО, а в РФ — ограниченный набор, по которым имеются доступные технологии;

- стоимость упаковки: в Германии в 2–4 раза выше, в Великобритании и Италии в 2–30 раз выше, чем в РФ;
- стоимость временного хранения РАО: в США в 6–60 раз выше, чем в РФ, в Германии — приблизительно в 8 раз, что в некоторой степени может быть обусловлено различиями в требованиях к качеству хранения;
- транспортировка РАО: удельная стоимость транспортировки 1 куб. м РАО на 1 км в РФ дороже, чем в США, примерно на 50% и составляет 20–30 руб./куб. м на км;
- стоимость захоронения РАО: в США в среднем в 2–8 раз выше, в Великобритании — в 2–7 раз выше, чем в РФ.

Высокая дифференциация стоимости операций может быть обусловлена следующими факторами:

- фонд оплаты труда, обеспечивающий, как правило, от 30 до 50% стоимости услуг, в зарубежных странах на порядок выше по сравнению с РФ;
- стоимость энергоресурсов (топливо, электроэнергия) в РФ значительно ниже по сравнению с западными странами;
- различия в технологиях и требованиях к безопасности, что может снижать корректность сопоставления (получить более детальную информацию проблематично из-за ее закрытости);
- нестабильность российского рубля и значительная инфляция в российской экономике в период 1995–2016 гг., которые существенно снижают достоверность сопоставления денежных единиц в различные годы.

Подобные расхождения прослеживаются также в смежных промышленных отраслях: ключевую

роль в отличии отечественных удельных стоимостных оценок и зарубежных играют уровень оплаты труда и стоимость энергоресурсов. Например, по данным официальной финансовой отчетности ПАО «ЛУКОЙЛ» и Royal Dutch Shell PLC (далее — Shell) затраты компаний на персонал составили в 2019 году около 3,2 млрд долл. (показатель «затраты на персонал») и 13,2 млрд долл. (показатель «total employee costs») соответственно. С учетом нормирования данного показателя на объемы добываемой продукции (ПАО «ЛУКОЙЛ» — 876 млн барр. н. э./г., Shell — 1332 млн барр. н. э./г.) соотношение российских значений удельных затрат на ФОТ и европейских составляет 2 к 5. С учетом того факта, что ПАО «ЛУКОЙЛ» широко представлен по всему миру, то отношение удельных затрат на ФОТ «внутри РФ» может отличаться от европейских еще значительно.

Литература

1. Цебаковская Н. С., Уткин С. С., Капырин И. В., Медянцева Н. В., Шамина А. В., Линге И. И., Поляков Ю. Д. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО / под ред. И. И. Линге, Ю. Д. Полякова. М.: Комтехпринт, 2015. 208 с.
2. Profile В. Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries. Tech. Rep., Nuclear Energy Agency, 2013. URL: https://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/Italy_profile_web.pdf (дата обращения 01.09.2020).
3. Kisielski W. E. et al. Unit Costs of Waste Management Operations. — Argonne National Lab., IL (United States), 1994. No. ANL/DIS/TM-23.
4. Brusa L. et al. The Decommissioning of the Trino Nuclear Power Plant. — Sogin (IT); ND& CU BNFL (GB); BNFL Inc. (US), 2002.
5. Scherwath T., Wealer B., Mendelewitch R. Nuclear Decommissioning after the German Nuclear Phase-Out: An Integrated View on New Regulations and Nuclear Logistics. 2019.
6. Johnson M., Janicki M., Beattie C. Life Cycle Costing in Radioactive Waste Packaging: Reducing Costs Whilst Accelerating Clean-Up // WM2016 Conference. 2016.
7. Methodology to Manage Material and Waste from Nuclear Decommissioning Waste Management & Decommissioning Working Group, 2019. URL: <https://www.world-nuclear.org/getmedia/e81d115f-70c2-4c47-b208-242acc799121/methodology-to-manage-material-and-waste-report.pdf.aspx> (дата обращения 01.09.2020).
8. Сайт Центрального Банка РФ. URL: <http://www.cbr.ru> (дата обращения 01.09.2020).
9. US Inflation Calculator. URL: <https://www.usinflationcalculator.com> (дата обращения 01.09.2020).
10. Macrotrends inflation rate. URL: <https://www.macrotrends.net> (дата обращения 01.09.2020).
11. Radioactive Waste Storage and Disposal Facilities in South Australia. Quantitative Cost Analysis and Business Case. April 2016. URL: www.jacobs.com (дата обращения 01.09.2020).
12. Единая информационная система в сфере закупок. URL: <https://zakupki.gov.ru/> (дата обращения 03.09.2020).
13. Консолидированная финансовая отчетность ПАО «ЛУКОЙЛ» от 31 декабря 2019 г. URL: <https://lukoil.ru/FileSystem/9/455006.pdf> (дата обращения 03.09.2020).
14. Annual Report and Accounts for the Year Ended December 31, 2019 Royal Dutch Shell PLC. URL: https://reports.shell.com/annual-report/2019/services/downloads/files/shell_annual_report_2019.pdf (дата обращения 03.09.2020).

Информация об авторах

Ильясов Дамир Фатович, кандидат экономических наук, научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: idf@ibrae.ac.ru.
Иванов Артем Юрьевич, и. о. заведующего отделением, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.
Кузнецова Екатерина Олеговна, младший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: kuznetsova@ibrae.ac.ru.
Будунова Анастасия Сергеевна, инженер, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: budunova@ibrae.ac.ru.
Степанян Полина Олеговна, инженер, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: spe@ibrae.ac.ru.
Михайленко Анастасия Андреевна, техник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: mikhaylenko@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание статьи

Ильясов Д. Ф., Иванов А. Ю., Кузнецова Е. О., Будунова А. С., Степанян П. О., Михайленко А. А. Сравнительный анализ стоимости операций по обращению с РАО на российском и международном рынках // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 14—21. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-14-21.

COMPARATIVE COST ANALYSIS OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT OPERATIONS IN THE RUSSIAN AND INTERNATIONAL MARKETS

Ilyasov D. F., Ivanov A. Yu., Kuznetsova E. O., Budunova A. S., Stepanyan P. O., Mikhailenko A. A.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on November 17, 2020

The article provides an overview of costs associated with radioactive waste management operations in different countries in the following areas: treatment, containerization, storage, transportation, and disposal of radioactive waste. All data are brought to a comparable form using various economic and mathematical methods in order to make a correct comparative analysis. In conclusion, the results of cost comparison across countries are presented, the possible reasons for their deviations are discussed.

Keywords: cost of operations, costs, radioactive waste management, comparative analysis, classification of radioactive waste, economic and mathematical methods, radioactive waste.

References

1. Tsebakovskaya N. S. et al. *Obzor zarubezhnyh praktik zahoroneniya OYAT i RAO* [Review of foreign practices for the disposal of spent nuclear fuel and radioactive waste]. Ed. by I. I. Linge, Yu. D. Poljakov. Moscow, Komtehprint Publ., 2015. 208 p.
2. Profile B. *Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries*. Tech. rep., Nuclear Energy Agency, 2013. URL: https://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/Italy_profile_web.pdf.
3. Kisieleski W. E. et al. *Unit Costs of Waste Management Operations*. Argonne National Lab., IL (United States), 1994. No. ANL/DIS/TM-23.
4. Brusa L. et al. The Decommissioning of the Trino Nuclear Power Plant. Sogin (IT); ND& CU BNFL (GB); BNFL Inc. (US), 2002.
5. Scherwath T., Wealer B., Mendelevitch R. *Nuclear Decommissioning after the German Nuclear Phase-Out: An Integrated View on New Regulations and Nuclear Logistics*. 2019.
6. Johnson M., Janicki M., Beattie C. Life Cycle Costing in Radioactive Waste Packaging: Reducing Costs Whilst Accelerating Clean-Up. *WM2016 Conference*. 2016.
7. Methodology to Manage Material and Waste from Nuclear Decommissioning Waste Management & Decommissioning Working Group, 2019. URL: <https://www.world-nuclear.org/getmedia/e81d115f-70c2-4c47-b208-242acc799121/methodology-to-manage-material-and-waste-report.pdf.aspx>.
8. Website of the Central Bank of the Russian Federation. URL: <http://www.cbr.ru>.
9. US Inflation Calculator. URL: <https://www.usinflationcalculator.com>.
10. Macrotrends inflation rate. URL: <https://www.macrotrends.net>.
11. Radioactive Waste Storage and Disposal Facilities in South Australia. Quantitative Cost Analysis and Business Case. April 2016. URL: www.jacobs.com.
12. Unified Information System in Procurement. URL: <https://zakupki.gov.ru/>.
13. Consolidated financial statements of PJSC LUKOIL as of December 31, 2019. URL: <https://lukoil.ru/File-System/9/455006.pdf>.
14. Annual report and accounts for the year ended December 31, 2019 Royal Dutch Shell PLC. URL: https://reports.shell.com/annual-report/2019/servicepages/downloads/files/shell_annual_report_2019.pdf.

Information about the authors

Ilyasov Damir Fatovich, PhD in economics, Scientific Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: idf@ibrae.ac.ru.

Ivanov Artem Yurievich, Head of Department, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.

Kuznetsova Ekaterina Olegovna, junior researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: kuznetsova@ibrae.ac.ru.

Budunova Anastasiya Sergeevna, engineer, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: budunova@ibrae.ac.ru.

Stepanyan Polina Olegovna, engineer, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: spo@ibrae.ac.ru.

Mikhailenko Anastasiya Andreevna, engineer, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: mikhaylenko@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Ilyasov D. F., Ivanov A. Yu., Kuznetsova E. O., Budunova A. S., Stepanyan P. O., Mikhailenko A. A. Comparative cost analysis of radioactive waste management operations in the Russian and international markets. *Radioactive Waste*, 2020, no. 4 (13), pp. 14–21. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-14-21.