



Методы прогнозирования затрат на поддержание в безопасном состоянии объектов ядерного наследия

Актуальность проведенного исследования обуславливается необходимостью контроля и прогнозирования затрат предприятий на поддержание в безопасном состоянии остановленных объектов использования атомной энергии для решения задач бюджетного планирования. В ближайшие годы ожидается рост операционных затрат в связи с увеличением количества таких объектов. Для решения проблемы используются эконометрические методы прогнозирования.

Цель исследования. Целью настоящей работы является разработка методики оценки затрат на поддержание в безопасном состоянии ядерно и радиационно опасных объектов и безопасное хранение радиоактивных отходов с учетом специфики ведения бухгалтерского учета на предприятиях атомной отрасли и прогнозирование таких затрат с учетом планов по останову и выводу из эксплуатации объектов и удалению накопленных радиоактивных отходов из пунктов хранения в будущем.

Материалы и методы. В работе разработана методика для выделения из общей структуры затрат, связанных с поддержанием остановленных объектов и пунктов хранения радиоактивных отходов предприятий атомной отрасли. Выполнена совокупная оценка таких затрат для объектов, эксплуатация которых по проектному назначению в настоящий момент прекращена. На базе полученных ретроспективных данных разработана корреляционно-регрессионная модель со структурными изменениями для прогнозирования затрат на поддержание в безопасном состоянии объектов использования атомной энергии, остановке которых ожидается в будущем. Разработанная модель позволяет учитывать специфику объектов, их уровень радиационной опасности и габаритные характеристики, средний уровень заработной платы на предприятиях и стоимость ресурсов.

Результаты. На основании планов по остановке и выводу

из эксплуатации объектов использования атомной энергии и удалению радиоактивных отходов из пунктов хранения выполнено прогнозирование затрат на поддержание в безопасном состоянии таких объектов с горизонтом планирования до 2050 года. Результаты расчетов показывают, что затраты для объектов использования атомной энергии (кроме блоков атомных электростанций) к 2035 году вырастут до 10 млрд руб. в год (в ценах 2022 года) и значительно сократятся после 2035 года — до 7,5 млрд руб. в год. Сокращение будет обусловлено переводом в ядерно и радиационно безопасное состояние крупных объектов радиохимических заводов, а также консервации площадок размещения промышленных уран-графитовых реакторов. Затраты на поддержание в безопасном состоянии пунктов хранения накопленных радиоактивных отходов будут ежегодно сокращаться (практически линейно) по мере передачи на захоронение удаляемых РАО и консервации пунктов хранения особых радиоактивных отходов. К 2035 году затраты сократятся с текущего уровня 5 млрд руб. до 4,3 млрд руб. в год.

Заключение. Полученные в рамках исследования результаты подтверждают высокую значимость реализации Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 — 2020 годы и на период до 2035 года», в рамках которой предполагается вывести из эксплуатации около 75 остановленных ядерно и радиационно опасных объектов и передать на захоронение около 155 тыс. куб. м. радиоактивных отходов.

Ключевые слова: ядерно и радиационно опасные объекты, радиоактивные отходы, поддержание в безопасном состоянии, затраты, прогнозирование, эконометрические методы, бюджетное планирование.

Damir F. Iliasov, Artem Yu. Ivanov, Ekaterina O. Kuznetsova

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

Methods for Predicting the Costs of Maintaining Nuclear Heritage Facilities in a Safe State

The relevance of the conducted research is determined by the need to control and forecast the costs of enterprises to maintain shutdown nuclear energy facilities in a safe condition in order to solve budget planning problems. In the near future, an increase in operating expenses is expected due to an increase in the number of such facilities. To solve the problem econometric forecasting methods are used.

Purpose of the research. This study is aimed to develop a methodology for estimating the costs of maintaining nuclear and radiation hazardous facilities in a safe condition and the safe storage of radioactive waste, considering the specifics of accounting at nuclear industry enterprises and forecasting such costs, taking into account plans for shutting down and decommissioning of facilities and removing accumulated radioactive waste from storage facilities in the future.

Materials and methods. In the research there was developed the methodology of isolation from the overall structure costs, associated with maintaining shutdown facilities and storage facilities for radioactive

waste of nuclear industry enterprises. A cumulative estimation of such costs has been carried out for facilities whose operation for the intended purpose has currently been discontinued. Based on obtained retrospective data, a correlation-regression model with structural changes was developed to predict the costs of maintaining nuclear energy facilities in a safe condition which are expected to be shut down in the future. The developed model allows considering the specifics of facilities, their level of radiation hazard and overall characteristics, the average level of wages at enterprises and the cost of resources.

Results. Based on the plans for the shutdown and decommissioning of nuclear energy facilities and the disposal of radioactive waste from storage facilities, the costs of maintaining such facilities in a safe condition with a planning horizon up to 2050 have been forecasted. The results of calculations show that the costs for nuclear energy facilities (except for nuclear power plant units) will increase to 10 billion rubles per year by 2035 (in 2022 prices) and will significantly

decrease after 2035 - up to 7.5 billion rubles per year. The reduction will be due to the transfer to a nuclear and radiation safe state of large facilities of radiochemical plants, as well as the conservation of sites for the placement of industrial uranium-graphite reactors. The costs of maintaining the storage facilities of accumulated radioactive waste in a safe condition will be reduced annually (almost linearly) as they are transferred to the disposal of the removed radioactive waste and the conservation of special radioactive waste facilities. By 2035, costs will be reduced from the current level of 5 billion rubles to 4.3 billion rubles per year.

Conclusion. The results of the study confirm the high importance of the implementation of the Federal Target Program "Ensuring Nuclear and Radiation Safety for 2016-2020 and for the period up to 2035", under which it is planned to decommission about 75 stopped nuclear and radiation hazardous facilities and transfer about 155 thousand cubic meters of radioactive waste to disposal.

Keywords: nuclear and radiation hazardous facilities, radioactive waste, maintaining in a safe condition, costs, forecasting, econometric methods, budget planning.

Введение

Проблема ликвидации объектов ядерного наследия (ОЯН) является одной из ключевых в вопросах обеспечения ядерной и радиационной безопасности в РФ [1, 2]. Проблема сложная с технической и технологической точек зрения, ее решение требует значительных финансовых ресурсов, проведения большого количества научных исследований и накопления практического опыта [3-5]. Для развития компетенций в этой области и выполнения работ по выводу из эксплуатации (ВЭ) ядерно- и радиационно- опасных объектов (ЯРОО) и обращению с накопленными радиоактивными отходами (РАО) и отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) уже были реализованы две федеральные программы и в настоящий момент выполняется федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2035 года» (далее – ФЦП ЯРБ-2) [6-8].

Одной из важных экономических задач при планировании текущей и будущей деятельности по ВЭ ЯРОО является оценка и прогнозирование затрат на поддержание их в безопасном состоянии (ПБС) с момента прекращения эксплуатации по проектному назначению до перевода объекта или площадки в конечное состояние (end state). Под конечным состоянием понимается не только полный демонтаж и ликвидация объекта до «зеленой» или «коричневой» лужайки, но и такие варианты как: смена статуса объекта на

пункт консервации и захоронения радиоактивных отходов (РАО) или частный случай снятия статуса ЯРОО путем устранения признаков радиационного и химического загрязнения без сноса строительных конструкций.

Аналогичная задача актуальна и для пунктов временного хранения накопленных РАО с момента прекращения размещения в них отходов до удаления отходов с последующим их захоронением. Учитывая количество остановленных в настоящий момент времени ЯРОО и объемы накопленных удаляемых РАО [9-11], а также имеющиеся ограничения по ресурсам (денежным, кадровым, инфраструктурным) и ряд технических и технологических нерешенных задач, длительность периода останова объектов может достигать десятилетия. За этот период, решая задачи экологической и радиационной безопасности, предприятия будут тратить десятки и сотни миллионов рублей, а отрасль – миллиарды рублей ежегодно, в результате чего совокупные операционные затраты на содержание объектов до перевода их в безопасное состояние в общей структуре расходов на решение проблемы ликвидации ОЯН будут существенными.

В соответствии с Федеральным Законом №190 «Об обращении с радиоактивными отходами» (далее – ФЗ №190), финансовую ответственность за обеспечение безопасного хранения РАО должен нести собственник отходов, а в случае с накопленными РАО (терминология в соответствии со

статьей 3 ФЗ №190) – это государство. В вопросах обеспечения ядерной и радиационной безопасности РФ несет также обязательства на международном уровне, об их выполнении регулярно докладывается представителями делегации от страны в МАГАТЭ [12-14].

В связи с этим организации, на территории которых имеются накопленные РАО, для возмещения из федерального бюджета понесенных ими затрат на безопасное хранение накопленных (государственных) РАО, должны ежегодно обосновывать размер этих затрат в соответствии с установленными Правительством РФ правилами. Существующие механизмы финансирования работ описаны в публикациях [15,16].

Актуальность оценки и прогнозирования затрат на ПБС ОЯН и безопасное хранение накопленных РАО обуславливается необходимостью:

- бюджетного планирования эксплуатирующими организациями своей затратной части на соответствующие направления;

- обоснования эксплуатирующими организациями своих затрат на предстоящий год при подаче заявок на получение субсидий на возмещение затрат на поддержание в безопасном состоянии ЯРОО и безопасное хранение накопленных РАО в соответствии с Правилами, утвержденными Постановлениями Правительства Российской Федерации (далее – Субсидии ЯРОО и РАО соответственно);

- обоснования размера денежных средств на мероприя-

тия, в том числе финансируемые в рамках ФЦП ЯРБ-2;

- долгосрочного финансового планирования операционных затрат и поиска путей их оптимизации на отраслевом уровне.

В большинстве случаев перевод в режим окончательного останова отдельных ЯРОО в плановом порядке осуществляется на предприятиях обособленно от всей остальной площадки в соответствии с внутренними регламентирующими документами и производственной программой. Таким образом, встает задача выделения затрат на ПБС остановленных ЯРОО и безопасного хранения накопленных РАО из общей структуры операционных затрат организации, которые, в том числе, учитывают и расходы на действующее производство. Основная проблема в этой части заключается в том, что зачастую системы бухгалтерского учета эксплуатирующих организаций не предполагают «пообъектного» учета ресурсов (электроэнергии, тепла, воды, пара, услуги обслуживания и ремонтов и т.д.). Из-за чего формирование финансового потока на ПБС отдельного объекта и оценка этого потока в динамике по всей совокупности остановленных объектов отрасли становится нетривиальной задачей. В связи с этим в тех случаях, где можно было однозначно отнести затраты к направлению ПБС остановленных ЯРОО и ПХ накопленных РАО в настоящей работе использовались прямые методы оценки затрат, где это сделать было невозможно — использовалась разработанная методика разнесения затрат.

Для прогнозирования затрат на ПБС вновь остановленных ЯРОО можно использовать или текущие затраты на содержание объектов в период их эксплуатации, или разработать методику косвенной оценки

на основе имеющегося опыта ПБС других остановленных ЯРОО. Анализируя проблематику детальнее, становится понятным, что изменение затрат на ПБС объекта после его останова крайне непредсказуемо — в одних случаях затраты могут не измениться, а в других — сократиться до 5 раз. И фактически это зависит от внутреннего решения организаций по обоснованному перечню мероприятий, достаточного для ПБС или безопасному хранению РАО в соответствии с действующими нормативными требованиями. Для решения этой задачи необходимо разработать стандартизированную модель оценки затрат на ПБС ЯРОО после их останова. Для ПХ накопленных РАО эта проблема не такая актуальная ввиду того, что перечень ПХ накопленных РАО определен ФЗ №190 и не будет меняться со временем до начала работ по извлечению РАО.

Целью настоящей работы является разработка методики оценки затрат на ПБС ЯРОО и безопасное хранение РАО с учетом специфики ведения бухгалтерского учета на предприятиях атомной отрасли и прогнозирование таких затрат с учетом планов по останову и выводу из эксплуатации ЯРОО и удалению накопленных РАО из ПХ в будущем.

Также следует уточнить, что процедура останова объектов предполагает определенные разовые вложения для перевода их в ядерно безопасное состояние, которые, по мнению авторов, следует относить к подготовительному этапу ВЭ, вследствие чего они не учитывались и не оценивались в рамках данного исследования.

Сбор и систематизация данных

Авторами статьи выполнена масштабная подготовительная работа для исследования, включая:

- создание методик для выделения затрат на ПБС остановленных ЯРОО и безопасное хранение накопленных РАО из общей структуры затрат организаций;

- верификация методик на пилотных площадках отрасли;

- подготовка запросов для организаций отрасли;

- сбор, систематизация и анализ полученных данных.

Ключевая работа по систематизации исходных данных была выполнена в период 2017-2019 гг. За это время исследованы 4 производственные площадки, на территории которых размещены остановленные ЯРОО и ПХ накопленных РАО. По итогам взаимодействия со специалистами бухгалтерии, имущественного и планово-экономического отделов была сформирована методика оценки текущих затрат организаций на ПБС объектов. Для этого были решены следующие задачи:

- разработан алгоритм очерчивания контура имущественного комплекса объекта ядерного наследия, включая вспомогательные и инфраструктурные объекты и земельный участок, являющиеся или неотъемлемой частью объекта, или необходимыми для его ПБС;

- сформирован перечень работ и услуг, входящих в мероприятия по ПБС;

- изучены системы бухгалтерского учета предприятий и разработана методика выделения текущих затрат на ПБС.

Для решения первой задачи был применен следующий подход: из перечня объектов, указанных в условиях действия лицензии на эксплуатацию ядерной установки, исключались объекты, задействованные в текущих видах деятельности организаций, приносящих выручку. В итоговый перечень попадали объекты недвижимого имущества категорий «Здание» и «Сооружения и передаточные устройства» и системно

связанное движимое неотделимое имущество инженерно-технического обеспечения зданий.

Поддержание полученных имущественных комплексов ЯРОО и ПХ накопленных РАО в безопасном состоянии включает в себя следующие виды деятельности:

- техническое обслуживание (периодические плановые осмотры ответственными лицами несущих конструкций и инженерного оборудования — с целью оценки их технического состояния и выявления несоответствия установленным нормам и требованиям безопасности, внеплановые осмотры после воздействий стихийного характера и технических аварий, технический мониторинг состояния зданий, в том числе с использованием автоматизированных систем наблюдения);

- текущий и капитальный ремонты и аварийно-восстановительные работы (то есть работы по компенсации износа объекта, приведению здания (сооружения) или его отдельных конструктивных элементов в первоначально запланированное техническое состояние, восстановлению изношенных элементов зданий (сооружений));

- обеспечение в помещениях необходимой температуры и влажности, освещения помещений, обеспечение подачи коммунальных ресурсов (электроэнергия, отопление, газоснабжение, подготовка зданий (сооружений) в осенне-зимний период (утепление оконных проёмов, вставка разбитых стёкол, и проч.);

- обеспечение мер пожарной безопасности, охрана зданий (сооружений);

- радиационный и экологический контроль и мониторинг;

- санитарное содержание (уборка помещений, дератизация, дезинсекция, прочие виды обработки);

- прочие затраты (общехозяйственные и общепроизводственные расходы, налоги и прочие сборы, страхование).

Оценка фактических годовых затрат проводилась по дебету счетов 20 «Основное производство», 23 «Вспомогательные производства», 25 «Общепроизводственные расходы», 26 «Общехозяйственные расходы», в разрезе первичных и вторичных затрат, видов источников финансирования и видов деятельности. Затраты оценивались или для каждого объекта отдельно (редко), или для комплексов (преимущественно) остановленных ЯРОО и ПХ накопленных РАО. В случае, если система бухгалтерского учета ведется с детализацией, достаточной для однозначного отнесения затрат на остановленные объекты, то в качестве оценок используются прямые первичные и вторичные затраты. В противном случае используется разработанная методика разнесения первичных и вторичных затрат на ПБС ЯРОО между остановленными и действующими ЯРОО. Суть методики заключается в распределении затрат по указанным выше направлениям между действующими и остановленными объектами пропорционально в соответствии с выбранной базой распределения. В качестве базы распределения используются натуральные показатели или коэффициенты. Выделение части затрат только на остановленные ЯРОО из общей структуры необходимо осуществить согласно формуле:

$$C_i^{ост} = C_i \cdot \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}^{ост}}{\sum_{j=1}^n X_{ij}^{ост} + \sum_{l=1}^m X_{il}^{функ}} \quad (1)$$

где $C_i^{ост}$ — значение i -ой статьи затрат на поддержание в безопасном состоянии остановленных ЯРОО в составе комплекса ядерной установки или радиационных источников;

C_i — значение i -ой статьи затрат на поддержание в безопасном состоянии всего комплекса ядерной установки или радиационных источников;

$X_{ij}^{ост}$ — значение натурального показателя, взятого из базы распределения для i -ой статьи затрат, для j -ого остановленного ЯРОО, попадающего в состав комплекса ядерной установки или радиационных источников (j — номер остановленного объекта, $j = 1, \dots, n$, n — количество остановленных ЯРОО);

$X_{il}^{функ}$ — значение натурального показателя, взятого из базы распределения для i -ой статьи затрат, для l -ого функционирующего ЯРОО, попадающего в состав комплекса ядерной установки или радиационных источников (l — номер функционирующего объекта, $l = 1, \dots, m$, m — количество функционирующих ЯРОО).

В формуле (1), для примера, затраты на санитарное содержание распределяются пропорционально площади помещений, затраты на текущие ремонты и обслуживание — пропорционально чел-час. работы необходимых бригад, расход электроэнергии — пропорционально данным по нормам расхода из паспортов объектов.

Разработанные на базе 4 пилотных площадок методики были направлены в другие организации отрасли, и дополнительно собрана и систематизирована информация еще по 12 площадкам. В совокупности на территории организаций, по которым проводился сбор данных, в настоящий момент находится более 80% остановленных ЯРОО и более 95% накопленных РАО, что говорит о достаточно высокой репрезентативности данных для исследования.

С учетом правил на получение Субсидий ЯРОО и РАО оценки текущих затрат эксплуатирующих организаций

на ПБС ЯРОО и безопасное хранение накопленных РАО распределены по следующим статьям:

1. затраты на оплату труда работников;
2. материальные затраты;
3. затраты на содержание и ремонт основных средств, а также на оплату коммунальных услуг;
4. затраты на совершенствование технологических процессов, реконструкцию и обновление материально-технической базы;
5. затраты на безопасность;
6. затраты на налоги, сборы, страховые взносы и другие обязательные платежи;
7. прочие затраты, связанные с поддержанием остановленных ядерных и радиационно опасных объектов ядерного наследия в безопасном состоянии.

Экономико-математические методы для прогнозирования затрат

Для оценки затрат на ПБС ЯРОО после их останова в будущем и для той части остановленных объектов, по которым не было получено фактических данных, была разработана модель, базирующаяся на имеющихся «эталонных» данных. Идея моделирования предполагает оценивать усреднённые затраты на ПБС объектов ядерного наследия на основе ряда их параметров. Для этого необходимо, во-первых, сгруппировать объекты по схожим признакам, во-вторых, внутри каждой группы определить параметры (качественные или количественные), оказывающие статистически значимое влияние на затраты на ПБС, в-третьих, выбрать математический метод для моделирования.

Все ЯРОО классифицировались на 9 групп с учетом их назначения и уровня радиационной опасности следующим образом:

- ледоколы и прочие суда;
- исследовательские ядерные установки;
- промышленные реакторы;

- блоки АЭС;
- ЯРОО на объектах ядерного топливного цикла, дополнительно разделенные на 5 групп:

- группа 1: основные производственные объекты на площадках, относящиеся к первой или второй категории по потенциальной радиационной опасности согласно Основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010);

- группа 2: вспомогательные здания и инфраструктурные объекты на площадках, относящиеся к первой или второй категории по потенциальной радиационной опасности согласно ОСПОРБ-99/2010;

- группе 3: основные производственные здания на площадках, относящиеся к третьей или четвертой категории по потенциальной радиационной опасности согласно ОСПОРБ-99/2010;

- группе 4: вспомогательные производственные здания на площадках, относящиеся к третьей или четвертой категории по потенциальной радиационной опасности согласно ОСПОРБ-99/2010;

- группа 5: объекты в «холодной» консервации.

- открытые площадки, склады и радиационно-загрязненные территории.

Для решения данной задачи рассматривались различные эконометрические методы в комбинации с экспертными [17, 18]. Анализ зарубежного опыта показывает, что эконометрические методы достаточно хорошо работают при решении математических задач на стандартизацию стоимостных показателей (тарифов в энергетике) на базе исторических данных. Например, аналогичный подход использовался при оценке тарифов на передачу

электроэнергии в Великобритании и Австрии, при этом исходная выборка (наблюдения) состояла из менее 20 компаний [19].

Для разработки финансово-экономической модели для прогнозирования затрат использовались следующие эконометрические методы:

- 1) однофакторная линейная регрессия;
- 2) система независимых эконометрических уравнений;
- 3) множественная регрессия со структурными изменениями;
- 4) модели по принципу балльно-рейтинговой системы оценивания.

Из предложенного набора методов лучшим с точки зрения сходимости фактических и модельных значений (коэффициент детерминации более 90%) оказался метод 3. Решено частично не учитывать особенности распределения затрат по различным направлениям и рассматривать зависимость совокупных затрат на ПБС в рамках комплекса остановленных ЯРОО от совокупного количества объектов каждого типа. Вместо простых линейных зависимостей рассмотрены кусочно-непрерывные функции (линейная функция со структурным изменением). Тут предполагается, что затраты на ПБС для особо крупных объектов растут не линейно — при достижении некоторого критического значения темпы роста замедляются.

Общий вид модели имеет вид:

$$Y = \sum_j T_j \cdot PS_j^- + \sum_j T_j^+ \cdot PS_j^+ + e, \quad (2)$$

где Y — значение совокупных затрат на ПБС объектов для комплекса остановленных ЯРОО (зависимая переменная);

T_j — значение совокупных удельных затрат для объектов j -ой группы, только для части

не превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (оцениваемый параметр модели);

T_j^+ — значение совокупных удельных затрат для объектов j -ой группы (оцениваемый параметр модели), только для части, превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$;

PS_j^- — суммарное значение, характеризующее совокупный физический размер для ЯРОО j -го типа, только для части, не превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (независимая переменная);

PS_j^+ — суммарное значение, характеризующее совокупный физический размер для ЯРОО j -го типа больше, только для части, превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (независимая переменная);

e — остатки модели.

В выражении (2) стоит уточнить, например, если в рамках комплекса имеется объект со строительным объемом 170 тыс. куб. м, а пороговое значение $PS_j^{порог} = 150$ тыс. куб. м, то в показатель PS_j^- по комплексу войдет значение 150 тыс. куб. м., а значение PS_j^+ будет равно 20 тыс. куб. м. (только часть превышающая «порог»). Такое распределение выполняется для всех объектов комплекса.

Была также рассмотрена модифицированная версия модели (2), учитывающая расход наиболее значимых ресурсов на ПБС:

$$Y = Y_1 + Y_2 + \sum_j T_j^{прочие} \cdot PS_j^- + \sum_j T_j^{прочие+} \cdot PS_j^+ + e, \\ Y_1 = \sum_j T_j^{ФОТ} \cdot N_j^{ФОТ} \cdot PS_j^- + \sum_j T_j^{ФОТ} \cdot N_j^{ФОТ+} \cdot PS_j^+, \\ Y_2 = \sum_i \sum_j T_i^{Рес} \cdot N_{ij}^{Рес} \cdot PS_j^- + \sum_i \sum_j T_i^{Рес} \cdot N_{ij}^{Рес+} \cdot PS_j^+,$$

где Y_1 — значение совокупных затрат на ФОТ для комплекса остановленных ЯРОО;

Y_2 — значение совокупных затрат на ресурсы (коммуналь-

ные услуги: электроэнергия, тепло, вода) для комплекса остановленных ЯРОО;

$T_j^{ФОТ}$ — средний ФОТ на 1 чел.-час работы для организации (независимая переменная);

$T_i^{Рес}$ — стоимость i -ого ресурса для организации (независимая переменная);

$T_j^{прочие}$ — значение совокупных удельных затрат по всем направлениям (кроме фонда оплаты труда и коммунальных услуг) для объектов j -ой группы, только для части, не превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (оцениваемый параметр модели);

$T_j^{прочие+}$ — значение совокупных удельных затрат по всем направлениям (кроме фонда оплаты труда и коммунальных услуг) для объектов j -ой группы, только для части, превышающей пороговое значения $PS_j^{порог}$ (оцениваемый параметр модели);

$T_j^{ФОТ}$ — удельное значение трудозатрат на ПБС ЯРОО j -го типа, только для части, не превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (оцениваемый параметр модели);

$N_j^{ФОТ+}$ — удельное значение трудозатрат на ПБС ЯРОО j -го типа, только для части, превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (оцениваемый параметр модели);

модели);

$N_{ij}^{Рес}$ — норматив расхода i -го ресурса на ПБС ЯРОО j -го типа, только для части, не превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (оцениваемый параметр модели);

$N_{ij}^{Рес+}$ — норматив расхода i -го ресурса на ПБС ЯРОО j -го типа, только для части, не превышающей пороговое значение $PS_j^{порог}$ (оцениваемый параметр модели).

В выражениях (2) и (3) все оцениваемые параметры рассчитывались методом наименьших квадратов по имеющейся выборке данных по комплексам ЯРОО.

Результаты моделирования и прогнозирование операционных затрат

Ядерно и радиационно опасные объекты

В результате, на базе имеющейся выборки были построены различные варианты моделей оценки затрат на ПБС остановленных ЯРОО и проведен сопоставительный анализ метрик их качества для выбора наилучшей.

Для большинства типов ЯРОО оценка параметров осуществлялась на основе модели многофакторной регрессии (2), оценки параметров представлены в табл. 1.

Таблица 1 (Table 1)

Оценка параметров T_j для прогнозирования ежегодных затрат на ПБС остановленных ЯРОО, в ценах на конец 2019 года

Estimation of T_j parameters for forecasting the annual costs for maintaining in a safe condition for shutdown nuclear and radiation hazardous facilities, in prices at the end of 2019

Тип ЯРОО	Удельные затраты	Параметр, характеризующий физический размер объекта	Единицы измерения удельных затрат
Ледоколы и суда	290	Водоизмещение судна	Руб./Тонна
Исследовательские ядерные установки	1,2	мощность установки	Млн руб./МВт
Промышленные уран-графитовые реакторы	16	масса графитной кладки	Тыс. руб./Тонна
Блоки АЭС	0,8	мощность блока	Млн руб./МВт
ЯРОО в холодной консервации (группа 5)	9	Строительный объем	Руб./куб.м
Площадки	26	общая площадь	кв.м.

Оценка параметров $T_j^{ФОР}$, $N_{ij}^{Рес}$ и $T_j^{Прочие}$ для прогнозирования ежегодных затрат на ПБС остановленных ЯРОО, в ценах на конец 2019 года

Estimation of $T_j^{ФОР}$, $N_{ij}^{Рес}$ and $T_j^{Прочие}$ parameters for forecasting the annual costs for maintaining in a safe condition for shutdown nuclear and radiation hazardous facilities, in prices at the end of 2019

Тип ЯРОО	Удельное значение трудозатрат	Удельный расход Тепла* (гор. вода)	Удельный расход электроэнергии	Прочие удельные затраты
Параметр, характеризующий физический размер объекта	Строительный объем	Строительный объем	Строительный объем	Общая площадь
Единицы измерения удельных затрат	чел-час/куб. м.	Гкал/ куб. м.	тыс. кВт-час/ куб. м.	руб./ кв. м.
ЯРОО, группа 1	1,28	0,2	0,06	6500
ЯРОО, группа 2	0,63	0,1	0,03	1750
ЯРОО, группа 3	0,15	0,1	0,02	1740
ЯРОО, группа 4	0,01	-	0,002	240

*поддержание температурного режима (5, 10 или 20 Градусов Цельсия), горячая вода и пар

*maintain temperature conditions (5, 10 or 20 degrees Celsius), hot water and steam

Затраты на ПБС для различных групп ЯРОО на площадках были уточнены с использованием модифицированной многофакторной регрессии (3), оценки параметров представлены в табл. 2.

Анализ точности моделирования затрат на ПБС больших объектов, строительный объем которых превышает 150 тыс. куб. м., показал, что данный подход для прогнозирования затрат применять нецелесообразно, ввиду сильных расхождений фактических и моделируемых значений. В совокупности таких объектов не много (несколько десятков), поэтому оценки затрат на ПБС для них производились индивидуально, и они не учитывались при моделировании.

Для прогнозирования совокупных затрат на ПБС остановленных ЯРОО организаций атомной отрасли проведена инвентаризация всех объектов с годом ввода в эксплуатацию до 2008 и не выведенных из эксплуатации до 2022 года. Для них собраны следующие данные:

- параметры, напрямую или косвенно характеризующие тип и физический размер объекта;
- планируемый год прекращения эксплуатации ЯРОО (то есть перевод объекта в режим окончательного останова);

• планируемый год начала вывода из эксплуатации (активных работ по демонтажу строительных конструкций).

По большей части объектов планируемые годы останова и вывода из эксплуатации сформированы на основании опросов эксплуатирующих организаций. Следует понимать, что они не являются утвержденными и финансово обеспеченными. А сроки вывода из эксплуатации объектов, входящих в мероприятия ФЦП ЯРБ-2, соответствуют плановым значениям и являются финансово обеспеченными.

Описанные выше стоимостные параметры приведены к 2022 году с учетом накоплен-

ного уровня инфляции в период с декабря 2019 г. по декабрь 2022 г. — 27,37%.

Прогнозируемые затраты на ПБС остановленных ЯРОО организаций атомной отрасли представлены на рис. 1 (за исключением энергоблоков АЭС).

Пункты хранения накопленных РАО

Попытка моделирования затрат на ПБС ПХ накопленных РАО для различных вариантов хранения также проводилась, однако получить статистически значимых результатов не удалось, ввиду сильной неоднородности данных между организациями. Вместе с тем

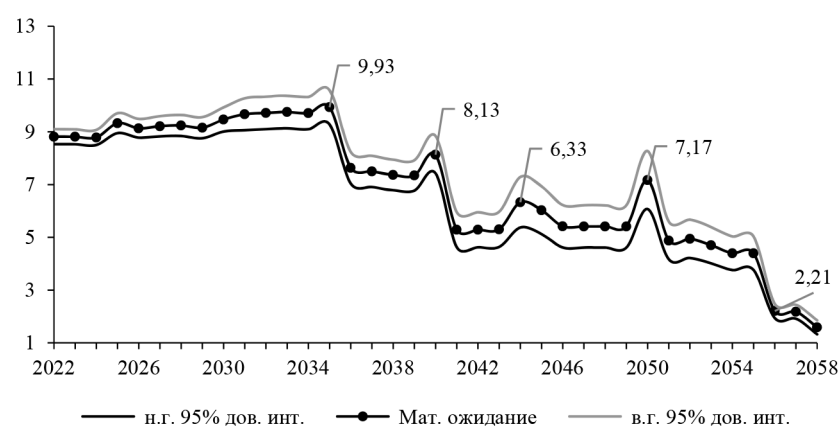


Рис. 1. Совокупные затраты на ПБС остановленных ЯРОО (кроме АЭС) по годам, млрд руб. в ценах на конец 2022 г.

Fig. 1. Total costs for maintaining in a safe condition for shutdown nuclear and radiation hazardous facilities (except nuclear power plants) by years, billion rubles in prices at the end of 2022

были сформулированы и описаны ниже некоторые закономерности.

В настоящий момент совокупные затраты организаций атомной отрасли на ПБС накопленных РАО оценивается в размере 5-5,3 млрд руб. в год (в ценах 2022 года). Затраты на ПБС крупных открытых водоемов хранилищ и хвостохранилищ (более 100 тыс. кв.м общей площадью) в абсолютном выражении оцениваются в диапазоне от 18 до 60 млн руб. в год. В пересчете на 1 кв.м общей площади расценка на безопасное хранение составляет от 30 до 60 руб./кв.м для открытых водоемов-хранилищ (за исключением водоемов хранилищ ФГУП ПО «Маяк», включая Теченский каскад водоемов), и от 1 до 10 руб./кв.м. для хвостохранилищ. Если привести затраты на безопасное хранение на 1 куб.м размещенных РАО, то расценки по меньшей мере уменьшатся на порядок.

После консервации открытых водоемов хранилищ затраты на безопасное хранение РАО могут сократиться до 3 раз преимущественно за счет снижения затрат на техобслуживание и ремонты инженерных барьеров безопасности, которые в общей структуре затрат могут достигать 70%. При этом практически неизменными остаются затраты на радиационный контроль и мониторинг, освещение и охрану территории.

Затраты на хранение РАО, размещенных навалов в полостях (могильники, хранилища траншейного типа, отвалы, ямы и т.д.), и расположенных на открытых площадках не превышают 8 млн. руб. в год. В пересчете на 1 кв. м занимаемой площади затраты составляют 35-75 руб./кв. м. Значительно выше расценка при хранении РАО в сооружениях с инженерными защитными барьерами — до 500 руб. на 1 кв. м занимаемой площади или до 200 руб. на 1 куб. м размещенных отходов.

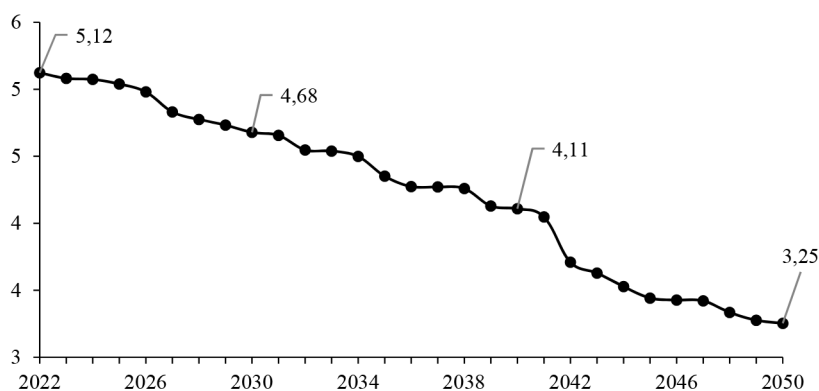


Рис. 2. Совокупные затраты на ПБС ПХ накопленных РАО по годам, млрд руб. в ценах на конец 2022 г.

Fig. 2. Cumulative costs for maintaining in a safe condition of storage facilities of accumulated radioactive waste by years, billion rubles in prices at the end of 2022

Наиболее высокие стоимости на хранение РАО отмечены при их размещении в упаковках в специализированных зданиях, ввиду высоких затрат на техобслуживание и ремонты строительных конструкций, а также на тепло- и электро- энергию. При данном способе хранения РАО затраты на содержание варьируются в диапазоне от 1,5 до 6,5 тыс. руб. на 1 куб. м размещенных отходов [20]. Стоит отметить, что практически все накопленные РАО, размещенные в специализированных зданиях, относятся к категории удаляемых.

Задача прогнозирования затрат на хранение накопленных РАО несколько проще ввиду того, что перечень таких РАО зафиксирован ФЗ №190 и текущие затраты известны. По мере удаления РАО и передачи их на захоронение ФГУП «НО РАО», а также консервации ПХ особых РАО эти затраты будут пропорционально сокращаться. С учетом планов в ФЦП ЯРБ-2 и организаций построены прогнозы затрат на ПБС (рис. 2).

Обсуждение результатов и заключение

В настоящей статье представлены результаты исследований, проводимых в период

2016-2020 гг. совместно ИБРАЭ РАН по заказу Госкорпорации «Росатом». В рамках работ были проведены систематизация данных об объектах ядерного наследия, формирование методик сбора данных, развитие экономико-математических методов для построения финансово-экономических моделей и прогнозирования будущих затрат организаций на ПБС остановленных ЯРОО и ПХ накопленных РАО.

На основании данных, представленных на рисунке 1, можно сделать вывод, что затраты на ПБС остановленных ЯРОО (кроме блоков АЭС) в период реализации ФЦП ЯРБ-2 вырастут с 9,1 до 9,93 млрд руб. (в ценах 2022 года), по мере роста количества остановленных объектов, и значительно сократятся после 2035 года — до 7,6 млрд руб., если будут реализованы планы Программы. Сокращение будет обусловлено переводом в ядерно и радиационно безопасное состояние крупных объектов радиохимических заводов, а также консервации площадок размещения ПУГР. Далее, каждые 5 лет, ожидается незначительный рост затрат из-за плановых остановов комплексов ЯРОО. Ликвидация большинства объектов, введенных в эксплуатацию до 2008 г., ожидается к 2056 году, когда затраты сократятся почти до 2 млрд руб.

Затраты на ПБС ПХ накопленных РАО будут ежегодно сокращаться (практически линейно) по мере передачи на захоронение удаляемых РАО и консервации ПХ особых РАО. К окончанию ФЦП ЯРБ-2 затраты сократятся с текущего уровня 5 млрд руб. до 4,3 млрд руб.

В период 2030-2035 годов ожидаются самые высокие затраты на ПБС ОЯН (без учета блоков АЭС). Их величина достигнет 14,3 млрд руб. в год к 2035 году, а в совокупности за период 2023-2035 гг. на эти цели будет затрачено почти 185 млрд руб., что сопоставимо с объемами финансирования

ФЦП ЯРБ-2 в части вывода из эксплуатации ЯРОО и удаления накопленных РАО. Однако эффективная реализация мероприятий программы позволит изменить тенденцию и после 2035 года затраты будут ежегодно сокращаться, даже с учетом новых остановленных объектов.

Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения / под общей редакцией Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. 2012. Т. 1. 356 с.
2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России [Электрон. ресурс]. М.: Энергопроманалитика, 2013. Т. 2. 392 с. Режим доступа: <http://www.ibrae.ac.ru/docs/Monografii/tom2%20sq.pdf>.
3. Линге И.И. Особые радиоактивные отходы [Электрон. ресурс]. М.: ООО «САМполиграфист», 2015. 240 с. Режим доступа: <http://xn---2030-bwe0hj7au5h.xn--p1ai/upload/iblock/cc5/cc536086a1af77aab435d88b1581f79a.PDF>.
4. Линге И.И., Абрамова А.А. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. М.: ИБРАЭ РАН, 2017. Т. 1. 336 с.
5. Линге И.И., Абрамова А.А. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. М.: ИБРАЭ РАН, 2017. Т. 2. 187 с.
6. Крюков О.В., Абрамов А.А., Тихонова А.А. и др. Итоги реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». М.: ИБРАЭ РАН, 2016. 220 с.
7. Ликвидация ядерного наследия: 2008–2015 годы / под общей редакцией А.А. Абрамова, О.В. Крюкова, И.И. Линге. 2015. 182 с.
8. Тихонова А.А., Толстых С.Д., Арфенкина С.Е. и др. Информационно-аналитическое сопровождение федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Опыт сопровождения и пути совершенствования. М.: ИБРАЭ РАН, 2016. 19 с.
9. Абрамов А.А., Дорофеев А.Н., Тяжко-роб Ж.В. и др. Особые радиоактивные отходы // Первичная регистрация РАО и установление мест их размещения. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2015. С. 89–105.
10. Абалкина И.Л., Бирюков Д.В., Ведерникова М.В. и др. Инвентаризация ядерно и радиационно опасных объектов: ожидаемые ре-

зультаты и перспективы их использования. М.: ИБРАЭ РАН, 2014. 39 с.

11. Абрамов А.А., Дорофеев А.Н., Комаров Е.А. и др. К вопросу оценки объема ядерного наследия в атомной промышленности и на иных объектах мирного использования атомной энергии в России [Электрон. ресурс] // Ядерная и радиационная безопасность. 2014. № 3. С. 3–13. Режим доступа: <https://nrs-journal.ru/upload/iblock/b92/st-1-73.pdf>.

12. Линге И.И., Дорогов В.И., Шарафутдинов Р.Б. и др. Об опыте представления национальных докладов Российской Федерации по выполнению обязательств в рамках Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами // Ядерная и радиационная безопасность. 2016. № 1(79). С. 18–27.

13. Крюков О.В., Хаперская А.В., Дорофеев А.Н. и др. Выполнение обязательств России в рамках Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами // Радиоактивные отходы. 2019. № 1 (6). С. 25–36.

14. Линге И.И. О рационализации систем обращения с РАО и обеспечения радиационной безопасности // Радиоактивные отходы. 2023. № 2 (23). С. 21–34. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-2-21-34.

15. Большов Л.А., Абалкина И. Л. и др. Анализ зарубежного опыта финансирования работ по долгосрочному обращению с ОЯТ, РАО и выводу ядерно- и радиационно-опасных объектов из эксплуатации. М.: ИБРАЭ РАН, 2006. 29 с.

16. Иванов А.Ю., Ильясов Д.Ф., Мамчиц Е.Г. Развитие подходов к приоритизации вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2023. Т. 20. № 4(130). С. 31–43. DOI: 10.21686/2413-2829-2023-4-31-43.

17. Елисеева И.И. и др. Эконометрика: учебник для вузов / под ред. И. И. Елисеевой. М.: Юрайт, 2023. 449 с.

18. Тихомиров Н.П., Тихомирова Т.М., Уш-

маев О.С. Методы эконометрики и многомерного статистического анализа: Учебник для студентов, обучающихся по экономическим специальностям и направлениям. М.: Экономика, 2011. 647 с.

19. Суюнчев М.М., Трегубова Е.А., Файн Б.И. Анализ зарубежного опыта бенчмаркинга затрат при регулировании тарифов на передачу электроэнергии [Электрон. ресурс] // Наукоедение. 2017. Т. 9. № 5. Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/105EVN517.pdf>.

References

1. Problemy yadernogo naslediya i puti ikh resheniya / pod obshchey redaktsiyey Ye.V. Yevstratova, A.M. Agapova, N.P. Laverova, L.A. Bol'shova, I.I. Linge = Problems of nuclear legacy and ways to solve them – ed. E.V. Evstratova, A.M. Agapova, N.P. Laverova, L.A. Bolshova, I.I. Linge. 2012; 1; 356 p. (In Russ.)

2. Problemy yadernogo naslediya i puti ikh resheniya. Razvitiye sistemy obrashcheniya s radioaktivnymi otkhodami v Rossii = Problems of nuclear legacy and ways to solve them. Development of a radioactive waste management system in Russia [Internet]. Moscow: Energopromanalitika; 2013: 2. 392 p. Available from: <http://www.ibrae.ac.ru/docs/Monografii/tom2%20sq.pdf>. (In Russ.)

3. Linge I.I. Osobyie radioaktivnyye otkhody = Special radioactive waste [Internet]. Moscow: SAM-poligrafist; 2015. 240 p. Available from: <http://xn--2030-bwe0hj7au5h.xn--p1ai/upload/iblock/cc5/cc536086a1af77aab435d88b1581f79a.PDF>. (In Russ.)

4. Linge I.I., Abramova A.A. Luchshiye zarubezhnyye praktiki vyvoda iz ekspluatatsii yadernykh ustanovok i reabilitatsii zagryaznennykh territoriy = Best foreign practices for decommissioning nuclear installations and rehabilitating contaminated areas. Moscow: IBRAE RAS; 2017: 1. 336 p. (In Russ.)

5. Linge I.I., Abramova A.A. Luchshiye zarubezhnyye praktiki vyvoda iz ekspluatatsii yadernykh ustanovok i reabilitatsii zagryaznennykh territoriy = Best foreign practices for decommissioning nuclear installations and rehabilitating contaminated areas. Moscow: IBRAE RAS; 2017. V. 2. 187 p. (In Russ.)

6. Kryukov O.V., Abramov A.A., Tikhonova A.A. et al. Itogi realizatsii federal'noy tselevoy programmy «Obespecheniye yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti na 2008 god i na period do 2015 goda» = Results of the implementation of the federal target program “Ensuring nuclear and radiation safety for 2008 and for the period until 2015”. Moscow: IBRAE RAS; 2016. 220 p. (In Russ.)

7. Likvidatsiya yadernogo naslediya: 2008-2015 gody / pod obshchey redaktsiyey A. A. Abramova, O.V. Kryukova, I.I. Linge = Elimination of the nuclear legacy: 2008-2015 -ed A.A. Abramov, O.V. Kryukov, I.I. Linge. 2015. 182 p. (In Russ.)

20. 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 [Электрон. ресурс] // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 14–21. Режим доступа: https://www.radwaste-ournal.ru/docs/journals/25/02icomparative_cost_analysis_of_radioactive_waste_management.pdf.

8. Tikhonova A.A., Tolstykh S.D., Arfenkina S.Ye. et.al. Informatsionno-analiticheskoye so-provozhdeniye federal'noy tselevoy programmy «Obespecheniye yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti na 2008 god i na period do 2015 goda». Opyt soprovozhdeniya i puti sovershenstvovaniya = Information and analytical support of the federal target program “Ensuring nuclear and radiation safety for 2008 and for the period until 2015.” Maintenance experience and ways to improve. Moscow: IBRAE RAS; 2016. 19 p. (In Russ.)

9. Abramov A.A., Dorofeyev A.N., Tyazhkorob Zh.V. et.al. Special radioactive waste. Pervichnaya registratsiya RAO i ustanovleniye mest ikh razmeshcheniya = Primary registration of radioactive waste and establishment of their locations. Moscow: Limited Liability Company “Sam Polygraphist”, 2015: 89-105. (In Russ.)

10. Abalkina I.L., Biryukov D.V., Vedernikova M.V. et al. Inventarizatsiya yadernoy i radiatsionno opasnykh ob'yektov: ozhidayemye rezul'taty i perspektivy ikh ispol'zovaniya = Inventory of nuclear and radiation hazardous objects: expected results and prospects for their use. Moscow: IBRAE RAS; 2014. 39 p. (In Russ.)

11. Abramov A.A., Dorofeyev A.N., Komarov Ye.A. et al. K On the issue of assessing the volume of nuclear legacy in the nuclear industry and other facilities for the peaceful use of atomic energy in Russia [Internet]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' = Nuclear and radiation safety. 2014; 3: 3-13. Available from: <https://nrs-journal.ru/upload/iblock/b92/st-1-73.pdf>. (In Russ.)

12. Linge I.I., Dorogov V.I., Sharafutdinov R.B. et al. On the experience of presenting national reports of the Russian Federation on fulfilling obligations under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management // Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' = Nuclear and radiation safety. 2016; 1(79): 18-27. (In Russ.)

13. Kryukov O.V., Khaperskaya A.V., Dorofeyev A.N. et al. Fulfillment of Russia's obligations under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Radioaktivnyye otkhody = Radioactive waste. 2019; 1(6): 25-36. (In Russ.)

14. Linge I.I. On the rationalization of radioactive waste management systems and ensuring radiation safety. *Radioaktivnyye otkhody* = Radioactive waste. 2023; 2 (23): 21–34. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-2-21-34. (In Russ.)

15. Bol'shov L.A., Abalkina I. L. et al. Analiz zarubezhnogo opyta finansirovaniya rabot po dolgosrochnomu obrashcheniyu s OYAT, RAO i vyvodu yaderno- i radiatsionno-opasnykh ob"yektov iz ekspluatatsii = Analysis of foreign experience in financing work on long-term management of spent nuclear fuel, radioactive waste and decommissioning of nuclear and radiation hazardous facilities. Moscow: IBRAE RAS; 2006. 29 p. (In Russ.)

16. Ivanov A.Yu., Il'yasov D.F., Mamchits Ye.G. Development of approaches to prioritizing the decommissioning of nuclear energy facilities. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova* = Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov. 2023; 20; 4(130): 31-43. DOI: 10.21686/2413-2829-2023-4-31-43. (In Russ.)

17. Yeliseyeva I.I. et al. *Ekonometrika: uchebnik dlya vuzov / pod red. I.I. Yeliseyevoy* = Economet-

rics: a textbook for universities - ed. I.I. Eliseeva Moscow: Yurayt; 2023. 449 p. (In Russ.)

18. Tikhomirov N.P., Tikhomirova T.M., Ushmayev O.S. *Metody ekonometriki i mnogomernogo statisticheskogo analiza: Uchebnik dlya studentov, obuchayushchikhsya po ekonomicheskim spetsial'nostyam i napravleniyam* = Methods of econometrics and multivariate statistical analysis: A textbook for students studying economic specialties and directions. Moscow: Economics; 2011. 647 p. (In Russ.)

19. Suyunchev M.M., Tregubova Ye.A., Fayn B.I. Analysis of foreign experience in cost benchmarking in regulating electricity transmission tariffs [Internet]. *Naukovedeniye* = Science. 2017; 9: 5. Available from: <https://naukovedenie.ru/PD-F/105EVN517.pdf>. (In Russ.)

20. Il'yasov D.F., Ivanov A.Yu., Kuznetsova Ye.O., Budunova A.S., Stepanyan P.O., Mikhaylenko A.A. Comparative analysis of the cost of operations for radioactive waste management in the Russian and international markets [Internet]. *Radioaktivnyye otkhody* = Radioactive waste. 2020; 4(13): 14-21. Available from: https://www.radwaste-journal.ru/docs/journals/25/02icomparative_cost_analysis_of_radioactive_waste_management.pdf. (In Russ.)

Сведения об авторах

Дамир Фатович Ильясов

К.э.н., заведующий лабораторией
Институт проблем безопасного развития
атомной энергетики Российской академии наук,
Москва, Россия
Эл. почта: idf@ibrae.ac.ru

Артём Юрьевич Иванов

Заведующий отделением
Институт проблем безопасного развития
атомной энергетики Российской академии наук,
Москва, Россия
Эл. почта: aivanov@ibrae.ac.ru

Екатерина Олеговна Кузнецова

Младший научный сотрудник
Институт проблем безопасного развития
атомной энергетики Российской академии наук,
Москва, Россия
Эл. почта: kuznetsova@ibrae.ac.ru

Information about the authors

Damir F. Iliasov

Cand. Sci. (Economics), head of laboratory at
Nuclear Safety
Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
E-mail: idf@ibrae.ac.ru

Artem Y. Ivanov

Head of department at Nuclear Safety
Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
E-mail: aivanov@ibrae.ac.ru

Ekaterina O. Kuznetsova

Junior researcher at Nuclear Safety
Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
E-mail: kuznetsova@ibrae.ac.ru