

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ БЛОКОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ АЭС

И.А. Енговатов*, А.И. Иванова*, Ж.А. Коваленко*, В.Г. Волков,
Н.Н. Сафронова****

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)*

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

***Ассоциация организаций строительного комплекса атомной отрасли
117485, г. Москва, ул. Обручева д. 30/1, стр. 1*



В настоящее время все большее число стран принимает в качестве основного варианта для вывода из эксплуатации АЭС стратегию немедленного демонтажа. В России в 2017 г. по результатам технико-экономического обоснования для блоков № 1 и № 2 Нововоронежской АЭС также была принята стратегия немедленного демонтажа. Основные преимущества данного варианта вывода АЭС из эксплуатации – снижение стоимости выполнения работ, сокращение времени выполнения работ, возможность использования действующего персонала станции и инфраструктуры площадки. В качестве основных положений для реализации данной стратегии ранее авторами был рассмотрен и предложен алгоритм выполнения организационно-технологической последовательности осуществления работ по выводу из эксплуатации АЭС, которые представляют собой укрупненную последовательность основных этапов вывода из эксплуатации и требуют дальнейшей детализации.

В развитие предложенных последовательных этапов выполнения работ по выводу из эксплуатации необходимо сформировать единый описательный документ, подробным образом представляющий процессы вывода из эксплуатации.

Основные положения блоковой концепции разработаны на основании действующих в настоящее время концепции вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения Госкорпорации «Росатом», концепции подготовки и вывода из эксплуатации блоков атомных станций АО «Концерн Росэнергоатом», федеральных норм и правил (НП-001-15). Ее назначение – развить и конкретизировать положения базовой концепции применительно к одним из конкретных объектов вывода из эксплуатации – зданиям, сооружениям и площадке АЭС как важным потенциальным источникам радиационной и экологической опасности. В результате сформированы и представлены основные положения блоковой концепции вывода из эксплуатации зданий и сооружений АЭС, которые рекомендуется разрабатывать для конкретного объекта и которые представляют собой детализированные разделы и подраз-

дела блоковой концепции, позволяющие сформировать единые для понимания организационно-технологические процессы вывода из эксплуатации АЭС.

Ключевые слова: блок АЭС, немедленный демонтаж, радиоактивные отходы, блоковая концепция вывода из эксплуатации АЭС, ядерный реактор, здания, сооружения и площадка АЭС.

Для цитирования: *Енговатов И.А., Иванова А.И., Коваленко Ж.А., Волков В.Г., Сафронова Н.Н.* Основные положения блоковой концепции вывода из эксплуатации зданий и сооружений АЭС. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 4. – С. 86-94. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.07>

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня страны, использующие атомную энергетику, отходят от стратегии отложенного демонтажа, и на первый план выходит вариант немедленной ликвидации энергоблоков АЭС после истечения проектного срока службы либо после принятия решения о прекращении использования энергоблока как источника выработки электроэнергии [1–3].

Переход на стратегию немедленного демонтажа позволяет решать множество проблемных вопросов, возникающих после остановки энергоблока, таких как снижение общих затрат на вывод из эксплуатации, повторное использование материалов конструкций зданий и сооружений АЭС, дальнейшее использование площадки, использование персонала станции. В России эти предложения сформулированы и обоснованы Концерном «Росэнергоатом». Нарботка практического опыта по выводу из эксплуатации АЭС позволяет расширять экономические горизонты стран, активно занимающихся вопросами вывода из эксплуатации [4, 5].

Ранее авторами были рассмотрены основные этапы выполнения работ по выводу из эксплуатации и предложен алгоритм выполнения организационно-технологических процессов демонтажа зданий и сооружений АЭС [6, 7]. В развитие предложенных последовательных этапов выполнения работ по выводу из эксплуатации необходимо сформировать единый описательный подробный документ или методику вывода из эксплуатации. Такая методика должна основываться на блоковой концепции вывода из эксплуатации блоков АЭС, основанной на реализации положений российской концепции вывода из эксплуатации АЭС, разработанной Концерном «Росэнергоатом».

Концепция представляет собой систему путей решения задачи, где каждый путь описан определенным единым для понимания способом.

Поскольку каждый энергоблок и площадка, на которой он расположен, являются по-своему уникальными, необходима разработка концепций, конкретизирующих как общие, так и частные вопросы вывода из эксплуатации.

Блоковая концепция – это концепция, которая разрабатывается для конкретного объекта (энергоблока) и устанавливает подробную стратегию действий по выводу из эксплуатации данного выбранного объекта. Блоковая концепция направлена на решение задачи по выводу объекта из эксплуатации максимально детализированным, безопасным и экономически выгодным способом.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ БЛОКОВОЙ КОНЦЕПЦИИ

В данной работе рассматриваются основные положения блоковой концепции вывода из эксплуатации (ВЭ) зданий и сооружений энергоблоков АЭС, являющейся конкретизированной частью общей (генеральной) концепции ВЭ блоков АЭС. При разработке основных положений концепции авторы опирались на международный и российский опыты работ по подготовке к выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии [8–14].

Более подробно в блоковой концепции рассматривается комплекс вопросов, связанных с разработкой научно-технических и организационно-технологических аспектов вывода из эксплуатации зданий, сооружений и площадки АЭС.

В основе положений блоковой концепции лежит планирование, управление и организация вывода из эксплуатации. Блоковая концепция состоит из нескольких частей – детализированных разделов, конкретизирующих общую российскую концепцию вывода из эксплуатации в части ВЭ зданий, сооружений и площадки АЭС.

На рисунке 1 представлена блок-схема концепции вывода из эксплуатации зданий, сооружений и площадки АЭС.



Рис. 1. Блок-схема концепции вывода из эксплуатации зданий, сооружений и площадки АЭС

Ниже приводится краткая характеристика структуры и содержания детализированных разделов, формирующих общие положения блоковой концепции.

Организационно-технический раздел блоковой концепции является основой для разработки разрешительной документации программы и проекта вывода из эксплуатации и представляет собой полное описание всех аспектов проекта (рис. 2).

В состав данного раздела непосредственно входят мероприятия по разработке организационных структур проекта вывода из эксплуатации, а также мероприятия по разработке требований к персоналу на всех этапах вывода из эксплуатации АЭС.

В кадровом разделе подробно рассматриваются вопросы возможности использования действующего персонала станции, найма, обучения и необходимости персонала в каждый конкретный период процесса вывода из эксплуатации.

В технологическом разделе изложены базовые принципы демонтажа и конечное состояние площадки, зданий и сооружений на ней. Важным этапом проведения работ по выводу из эксплуатации является комплексное инженерное и радиационное обследование (КИРО) зданий и сооружений АЭС. На основании данных КИРО прово-

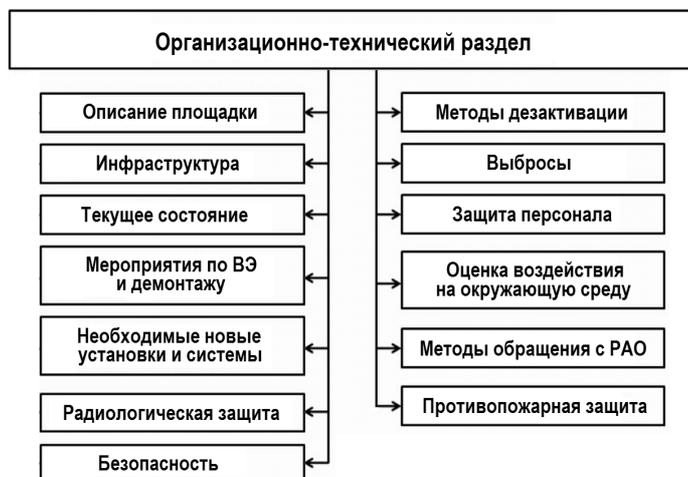


Рис. 2. Состав и содержание организационно-технического раздела

дится инвентаризация, которая позволяет классифицировать объекты демонтажа на три группы по степени загрязненности, что в дальнейшем позволит выбрать технологию и определить очередность демонтажных работ, методы и средства демонтажа.

По результатам КИРО и инвентаризации создается база данных как часть информационной системы для вывода из эксплуатации ОИАЭ.

В рамках данного исследования рассматриваются только строительные и защитные конструкции зданий и сооружений. Основные работы по их демонтажу должны быть тщательно описаны и включать в себя следующие положения:

- принципы демонтажа;
- инструменты и оборудование, которые будут использоваться при демонтаже;
- процедуры обращения с демонтированными материалами (отходами) на месте;
- календарное планирование;
- специфика демонтажных работ в зоне контролируемого доступа, с радиоактивными конструкциями и материалами;
- этапы дезактивации зданий и сооружений;
- технологии и методы сноса строительных конструкций.

Следующим немаловажным принципиальным моментом является разработка специальной проектной документации, утверждаемой регулирующим органом.

Основными требованиями к проектной документации являются

- подробное описание системы;
- категория материала и статус загрязнения на основании КИРО и инвентаризации;
- подробное техническое описание запланированных мероприятий по дезактивации;
- последовательность демонтажа (последовательность рабочих шагов);
- оценка массы отходов;
- цель и схемы утилизации и расчеты;
- описание рабочей среды;
- планирование всех видов затрат.

Раздел обращения с отходами (рис. 3) как один из основных факторов затрат на вывод из эксплуатации является ключевым вопросом при выводе из эксплуатации всех АЭС. Огромные массы демонтированных материалов и радиоактивных отходов должны быть обработаны в рамках проекта вывода из эксплуатации. Основная цель в рам-



Рис. 3. Блок-схема раздела управления отходами

ках всего проекта вывода из эксплуатации должна заключаться в том, чтобы удалить с площадки как можно больше демонтированных материалов и отходов, предпочтительно, в виде нерадиоактивных материалов (материалов повторного использования) после обработки в случае необходимости и контрольных измерений, допускающих неограниченное их использование. Все это позволит снять ограничения надзорных органов с площадки.

Первым этапом является разработка и представление в контролирующие органы стратегии управления отходами.

В данной стратегии необходимо определить следующие шесть основных этапов:

- планируемые объемы отходов;
- планирование необходимого «оборудования», например, для погрузочно-разгрузочных работ;
- планирование необходимых буферных складов или площадок временного хранения;
- планирование и организация радиационного контроля;
- планирование необходимых упаковок (контейнеры, бочки, ящики);
- планирование методологии отслеживания отходов.

Чтобы спланировать и управлять потоками отходов, необходимо определить массы и объемы различных категорий радиоактивных и нерадиоактивных отходов. Для радиоактивных отходов необходимо как можно точнее оценить объемы для каждой категории, что обеспечит прочную основу для планирования следующих шагов по управлению отходами. В концепции должно быть подробно описано, какие и в каком количестве должны быть спроектированы зоны и площадки обращения с отходами разных классов и категорий. В этой связи альтернативным решением для ускорения процесса вывода из эксплуатации в условиях многоблочности российских АЭС является типовой универсальный комплекс, позволяющий начинать процесс вывода из эксплуатации практически сразу после останова реактора, и в значительной степени минимизирующий отрицательное воздействие на персонал, население и окружающую среду [15].

Обязательным условием является организация радиационного контроля на всех этапах обращения с радиоактивными отходами и материалами повторного использования, проектирование сооружения для обработки материалов (отходов) исходя из расчетных масс материала, подлежащего демонтажу. В разделе управления отходами также необходимо концептуально спланировать внедрение системы отслеживания отходов на всем протяжении их перемещения от площадки до мест хранения и захоронения.

Раздел повторного использования площадки включает в себя описание действий по рекультивации площадки, которые должны быть включены в качестве отдельного

подпроекта еще на ранней стадии вывода из эксплуатации. В данном разделе в обязательном порядке должны быть решены вопросы о дальнейшем использовании площадки, например, она может быть повторно использована в качестве площадки для строительства новой АЭС или же для других промышленных целей.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ И ВЫВОДЫ

Разработаны общие положения блоковой концепции вывода из эксплуатации зданий, сооружений и площадки, одних из ключевых объектов, определяющих потенциальную радиационную и экологическую опасность для персонала, населения и окружающей среды.

Концепция состоит из детализированных разделов, обосновывающих научно-технические и организационно-технологические задачи вывода из эксплуатации зданий, сооружений и площадки АЭС.

Для практической реализации необходимо адаптировать имеющиеся и разработать новые методики измерения характеристик и параметров объектов исследования применительно к решению задач, обозначенных в разделах концепции.

Практическое применение концепции позволит

- обосновать с научно-организационной и технической точек зрения программу, проект, срок начала и план-график проведения демонтажных работ;
- конкретизировать методы, средства и технологию проведения демонтажных работ;
- определить объемы, категорию и классы радиоактивных отходов и способы обращения с ними;
- оценить людские, технические и финансовые затраты на проведение работ по выводу из эксплуатации;
- определить возможные пути дальнейшего использования площадки.

Литература

1. *Цебаковская Н.С., Уткин С.С., Иванов А.Ю., Сахаров В.К., Полунин К.Е.* Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. Т. 1. – М.: Комтехпринт, 2017. – 336 с. ISBN 9907220-4-978-5-0.
2. *Цебаковская Н.С., Уткин С.С., Иванов А.Ю., Сахаров В.К., Полунин К.Е.* Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. Том 2. – М.: Комтехпринт, 2017. – 187 с. ISBN 978-5-9907220-4-0.
3. *Крупышева П.О.* Сравнительная оценка процессов вывода из эксплуатации АЭС: Испания VS Германия. // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 34. – С. 2471-2477. Электронный ресурс <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46320779> (дата доступа 10.01.2023).
4. *Муратов О.Э., Тихонов М.Н.* Снятие атомных электростанций с эксплуатации: проблемы и пути решения. // АНРИ. – 2008. – № 1(52). – С. 2-15. Электронный ресурс <https://anry.pro/article/663> (дата доступа 10.01.2023).
5. *Былкин Б.К., Зверков Ю.А., Енговатов И.А. и др.* Основы вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций. – М.: Издательский дом МЭИ, 2019. – 503 с. ISBN 978-5-383-01384-4.
6. *Engovatov I.A., Kovalenko Z.A.* Algorithm for constructing an organizational and technological model for dismantling NPP buildings / E3S Web of Conferences 263,04044 (2021). – 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304044>
7. *Енговатов И.А., Коваленко Ж.А.* Специфика демонтажа зданий и сооружений, выводимых из эксплуатации АЭС. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 12-1(102). – С. 33-37. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.006>
8. *Laraia M.* Nuclear decommissioning Planning, execution and international experience. – Woodhead Publishing Limited, 2012. – 805 с. Электронный ресурс <https://www.researchgate.net/publication/>

295564309_Nuclear_decommissioning_Planning_execution_and_international_experience (дата доступа 10.01.2023).

9. *Larsson H., Anunti A., Edelborg M.* Decommissioning Study of Oskarshamn NPP. R-13-04. – Westinghouse Electric Sweden AB, 2013.

Электронный ресурс <https://skb.se/upload/publications/pdf/R-13-04.pdf> (дата доступа 10.01.2023).

10. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации / *Под общ. ред. Л.А. Большова, Н.П. Лаврова, И.И. Линге.* – М. – Т. 3. – 2015. – 316 с. <http://www.ibrae.ac.ru/docs/109/monografiyaiproblemiiyadernogoinaslediyaitomi3irevised.pdf> (дата доступа 10.01.2023).

11. *Зверков Ю.А., Иванов О.П., Колядин В.И. и др.* Анализ проблем подготовки и вывода из эксплуатации российских исследовательских реакторов. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2019. Электронный ресурс <https://www.atomic-energy.ru/articles/2012/04/13/32657> (дата доступа 10.01.2023).

12. *Енговатов И.А., Синюшин Д.К.* Минимизация радиоактивных отходов при выводе из эксплуатации атомных станций новых поколений. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 10. – С. 46-49.

Электронный ресурс <http://dspace.bstu.ru/jspui/bitstream/123456789/3201/1/6.%20%95%bd%b3%be%b2%b0%1%82%be%b2.pdf> (дата доступа 10.01.2023).

13. *Былкин Б.К., Енговатов И.А., Кожевников А.Н., Синюшин Д.К.* Наведенная активность радиационной защиты в проблеме вывода из эксплуатации ядерных установок. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2017. – № 3(85). – С. 1-14. Электронный ресурс https://nrs-journal.ru/upload/iblock/d7a/induced_activity.pdf (дата доступа 10.01.2023).

14. *Былкин Б.К., Горелов К.А., Енговатов И.А. и др.* Необходимость пересмотра нормативной базы по выводу из эксплуатации АЭС. // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. – 2013. – № 1. – С. 34-41.

15. *Енговатов И., Коваленко Ж., Мохов Г.* Проектирование универсального комплекса по утилизации на площадках действующих АЭС. // Энергетическая политика. – 2022. – № 3(169). – С. 76-85. Электронный ресурс <https://energypolicy.ru/proektirovanie-universalnogo-kompleksa-po-utilizaczii-na-ploshhadkah-dejstvuyushhih-aes/energetika/2022/19/04/> (дата доступа 10.01.2023).

Поступила в редакцию 13.01.2023 г.

Авторы

Енговатов Игорь Анатольевич, профессор, д.т.н.,

E-mail: eng46@mail.ru

Иванова Анастасия Игоревна, магистрант,

E-mail: stasay@list.ru

Коваленко Жанна Александровна, аспирант,

E-mail: zhannakovalenko1994@yandex.ru

Волков Виктор Глебович, д.т.н., главный технолог по выводу из эксплуатации ОИАЭ,

E-mail: volk1189@yandex.ru

Сафронова Наталия Николаевна, зам. генерального директора, к.э.н.,

E-mail: safronovann@acspn.ru

Main Provisions of the Block Concept of Decommissioning of NPP Buildings And Facilities

Engovatov I.A. *, Ivanova A.I. *, Kovalenko Zh.A. *, Volkov V.G. **, Safronova N.N. **

*Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

26, Yaroslavskoe Sh., 129337 Moscow, Russia

**Association of Organizations of the Construction Complex of the Nuclear Industry,
30/1 bld. 1, Obrucheva Str., 127485 Moscow, Russia

ABSTRACT

Recently, a growing number of countries have adopted the «immediate decommissioning» strategy as the main option for decommissioning nuclear power plants. In Russia, in 2017, based on the results of a feasibility study for units No. 1 and No. 2 of the Novovoronezh NPP, an immediate dismantling strategy was also adopted. The main advantages of this option for NPP decommissioning are the reduction in the cost of work, the reduction in the time of work, the possibility of using the existing plant personnel and site infrastructure.

As the main provisions for the implementation of this strategy, the authors previously considered and proposed an algorithm for performing the organizational and technological sequence of NPP decommissioning works, which represent an enlarged sequence of the main decommissioning stages and require further detailing.

As a follow-up to the proposed sequential stages of decommissioning work, it is necessary to develop a single descriptive document detailing the decommissioning processes.

The main provisions of the block concept were developed on the basis of the currently valid concept for the decommissioning of nuclear installations, radiation sources and storage facilities of the State Corporation Rosatom, the Concept for the preparation and decommissioning of nuclear power plant units of Rosenergoatom Concern JSC, federal norms and regulations (NP- 001-15). Its purpose is to develop and specify the provisions of the basic concept in relation to one of the specific decommissioning objects – buildings, structures and nuclear power plant sites, as important potential sources of radiation and environmental hazards.

The organizational and technological components of these concepts, the main problematic issues on which make it possible to form organizational and technological processes for decommissioning NPP that are unified for understanding

Key words: NPP unit, immediate dismantling, radioactive wastes, block concept decommissioning NPP unit, nuclear reactor, buildings and constructions and site NPP unit.

For citation: Engovatov I.A., Ivanova A.I., Kovalenko Zh.A., Volkov V.G., Safronova N.N. Main Provisions of the Block Concept of Decommissioning of NPP Buildings And Facilities. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, no. 4, pp. 86-94; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.07> (in Russian).

REFERENCES

1. *Tsebakovskaya N.S., Utkin S.S., Ivanov A.Y., Saharov V.K., Polunin K.E.* Luchshie zarubezhnye praktiki vyvoda iz ekspluatatsii yadernykh ustanovok i reabilitatsii zagriaznennykh territorii. Vol. 1. – Moscow. Comtechprint, 2017. 336 p. ISBN 9907220-4-978-5-0 (in Russian).

2. *Tsebakovskaia N.S., Utkin S.S., Ivanov A.Y., Saharov V.K., Polunin K.E.* Luchshie zarubezhnye praktiki vyvoda iz ekspluatatsii yadernykh ustanovok i reabilitatsii zagriaznennykh territorii. Vol. 2. – Moscow. Comtechprint, 2017. 187 p. ISBN 9907220-4-978-5-0 (in Russian).
3. *Krupysheva P.O.* Sravnitelnaia otsenka protsessov vyvoda iz ekspluatatsii AES: Ispaniia VS Germaniia. Innovatsii. Nauka. Obrazovanie. 2021, no. 34, pp. 2471-2477 (in Russian).
4. *Muratov O.E., Tikhonov M.N.* Snyatie atomnykh elektrostantsi iz ekspluatatsii: problemy i puti resheniia. ANRI. 2008, no. 1(52), pp. 2-15 (in Russian).
5. *Bylkin B.K., Zverkov Y.A., Engovatov I.A., Zimin V.K., Korneev I.I., Safronova N.N., Volkov V.G., Stakhiv M.P., Nemytov C.A., Chukin A.P.* Osnovy vyvoda iz ekspluatatsii blokov atomnykh elektricheskikh stantsii. M., Izdatelskii dom MEL, 2019, 503 p. ISBN 978-5-383-01384-4 (in Russian).
6. *Engovatov I.A., Kovalenko Z.A.* Algorithm for constructing an organizational and technological model for dismantling NPP buildings. E3S Web of Conferences, 263, 04044 (2021), 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304044>
7. *Engovatov I.A., Kovalenko Zh.A.* Specifics of dismantling decommissioned buildings and structures at nuclear power plants. International research journal. 2020, no. 2(1), pp. 33-37. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.006> (in Russian).
8. *Laraia M.* Nuclear decommissioning: Planning, execution and international experience. Woodhead Publishing Limited. 2012, 805 p. Available at: https://www.researchgate.net/publication/295564309_Nuclear_decommissioning_Planning_execution_and_international_experience (accessed Jan. 10, 2023).
9. *Larsson H., Anunti A., Edelborg M.* Decommissioning Study of Oskarshamn NPP. R-13-04. – Westinghouse Electric Sweden AB, 2013. 196 p. Available at: <https://skb.se/upload/publications/pdf/R-13-04.pdf> (accessed Jan. 10, 2023).
10. *Bolshov L.A., Laverov N.P., Linge I.I.* Problemy iadernogo nasledii i puti ikh resheniia. Vyvod iz ekspluatatsii. Vol. 3. Moskva, 2015. 316 p. (in Russian).
11. *Zverkov Y.A., Ivanov O.P., Koliadin V.I., Lemus A.V., Pavlenko V.I., Stepanov V.E., Fadin S.Y., Shisha A.D.* Analiz problem podgotovki i vyvoda iz ekspluatatsii rossiiskikh issledovatel'skikh reaktorov. M.: NITS «Kurchatovskii institut», 2019 (in Russian).
12. *Engovatov I.A., Siniushin D.K.* Minimizatsiia radioaktivnykh otkhodov pri vyvode iz ekspluatatsii atomnykh stantsii novykh pokolenii. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im.V.G. Shukhova. 2017, no. 10, pp. 46-49 (in Russian).
13. *Bylkin B.K., Engovatov I.A., Kozhevnikov A.N., Siniushin D.K.* Navedennaia aktivnost radiatsionnoi zashchity v probleme vyvoda iz ekspluatatsii iadernykh ustanovok. Iadernaia i radiatsionnaia bezopasnost. 2017, no. 3(85), pp. 1-14 (in Russian).
14. *Bylkin B.K., Gorelov K.A., Engovatov I.A., Zaytsev A.N., Zimin V.K., Rubtsov P.M., Tihanovskiy S.A.* Neobhodimost' peresmotra normativnoj bazy po vyvodu iz ekspluatatsii AES. Bezopasnost' yadernykh tehnologii i okruzsauchejsredy. 2013, no. 1, pp. 34-41 (in Russian).
15. *Engovatov I., Kovalenko Z., Mokhov G.* Proektirovanie universalnogo kompleksa po utilizatsii na ploshchadkakh deistvuiushchikh AES. Energeticheskaiia politika. 2022, no. 3(169), pp. 76-85 (in Russian).

Authors

Igor A. [Engovatov](#), Ph.D.,
 E-mail: eng46@mail.ru
 Anastasiya I. [Ivanova](#), undergraduate,
 E-mail: stasay@list.ru
 Zhanna A. [Kovalenko](#), graduate student,
 E-mail: zhannakovalenko1994@yandex.ru
 Victor G. [Volkov](#), Ph.D.,
 E-mail: volk1189@yandex.ru
 Natalia N. [Safronova](#), Ph.D.,
 E-mail: safronovann@accni.ru