

ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

NUCLEAR, RADIATION AND ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 621.039.577: 341.29
DOI 10.26583/gns-2023-02-01
EDN MAEBCO

Особенности применения гарантий при перегрузке отработавшего ядерного топлива на оптимизированном плавучем энергоблоке

С.А. Душев, И.В. Шмелев, П.А. Горбунов, Н.А. Сальникова , А.Д. Абросимов,
В.В. Мальев , Т.А. Тагирова  

АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Россия
 tagirova.t@okbm.nnov.ru

Аннотация. После успешного ввода в эксплуатацию плавучего энергоблока «Академик Ломоносов» с реакторной установкой КЛТ-40С следующим шагом Госкорпорации «Росатом» стала разработка оптимизированных плавучих энергоблоков (ОПЭБ). ОПЭБ с реакторной установкой серии РИТМ является экспортоориентированным продуктом и предназначен для эксплуатации на зарубежных площадках. Технические решения ОПЭБ основаны на практическом опыте проектирования и эксплуатации атомных ледоколов и решении задач по обеспечению безопасности эксплуатации ядерных энергетических установок в суровых условиях Севера. Период между перегрузками ОПЭБ может составлять до 10 лет в зависимости от мощности, на которой эксплуатируется реакторная установка, при обогащении ядерного топлива менее 20%. Технология перегрузки реакторов серии РИТМ обладает рядом особенностей по сравнению с технологией перегрузки других атомных электростанций с водородными энергетическими реакторами. Установки типа РИТМ никогда не ставились под гарантии МАГАТЭ; возможности и особенности применения гарантий МАГАТЭ к таким установкам требуют дополнительного анализа. Разработанная модель эксплуатации предполагает, что ОПЭБ будет эксплуатироваться на площадке размещения в течение длительного периода, а все операции по обращению с топливом будут осуществляться на специализированном предприятии в РФ. В рамках данной статьи будут рассмотрены основные особенности обращения с топливом в жизненном цикле ОПЭБ на базе РУ РИТМ-200М, важные с точки зрения гарантий МАГАТЭ, и представлено видение разработчиков в отношении решения ключевых задач в области нераспространения путем адаптации подходов к осуществлению гарантий МАГАТЭ с учетом технических особенностей ОПЭБ.

Ключевые слова: оптимизированный плавучий энергоблок (ОПЭБ), гарантии МАГАТЭ, перегрузка отработавшего ядерного топлива, концепция обращения с ядерным топливом на ОПЭБ, РУ РИТМ-200М.

Для цитирования: Душев С.А., Шмелев И.В., Горбунов П.А., Сальникова Н.А., Абросимов А.Д., Мальев В.В., Тагирова Т.А. Особенности применения гарантий при перегрузке отработавшего ядерного топлива на оптимизированном плавучем энергоблоке. *Глобальная ядерная безопасность*. 2023;13(2):6–14. <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-01>

Features of applying safeguards to Optimized Floating Power Unit spent nuclear fuel handling

Sergei A. Dushev, Igor V. Shmelev, Pavel A. Gorbunov, Nadezhda A. Salnikova ,
Aleksey D. Abrosimov, Vladimir V. Malev , Tatyana A. Tagirova  

Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation
 tagirova.t@okbm.nnov.ru

Abstract. After the Floating Power Unit Akademik Lomonosov with the KLT-40S reactor plant had been successfully commissioned, the next step for ROSATOM was to develop optimized floating power units (OFPU). OFPUs powered by the RITM reactor plant are an export-oriented product, and they designed to operate on sites outside Russia. OFPU engineering solutions are based upon the practical design and operation experience in nuclear-powered icebreakers and upon problem solving to assure safety for operation of nuclear plants under severe northern conditions. At the nuclear fuel enrichment lower than 20%, the refueling interval

for the OFPU may be up to 10 years depending on Loadings. The RITM reactor refueling process has a number of differences compared to the refueling process of other nuclear power plants fitted with water-cooled water-moderated power reactors. RITM plants have never been placed under the IAEA Safeguards, and capabilities and features of applying the IAEA Safeguards to such plants require an additional analysis. The developed operation model assumes that the OFPU be operated on a deployment site for a long period, and all fuel handling operations will be done at a specialized facility in the Russian Federation (RF). This paper is discussing the major fuel handling features in the life cycle of the OFPU fitted with RITM-200M—these are the critical features in terms of the IAEA Safeguards. Also, the paper is providing the designers' perspective on solving the key non-proliferation problems through adapting the Safeguards approaches with account of the OFPU technical features.

Keywords: the optimized floating power unit (OFPU), IAEA Safeguards, spent fuel handling, OFPU fuel handling concept, the RITM-200M reactor plant.

For citation: Dushev S.A., Shmelev I.V., Gorbunov P.A., Salnikova N.A., Abrosimov A.D., Malev V.V., Tagirova T.A. Features of applying safeguards to optimized floating power unit spent nuclear fuel handling. *Global nuclear safety*. 2023;13(2):6-14 (In Russ.) <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-01>

Введение

В настоящее время в мире наблюдается устойчивый интерес к атомным станциям малой мощности ввиду их способности удовлетворять потребность в энергообеспечении пользователей, удаленных от центральных энергосетей. После успешного ввода в эксплуатацию плавучего энергоблока «Академик Ломоносов» с реакторной установкой (далее – РУ) КЛТ-40С организациями Госкорпорации «Росатом» был разработан эскизный проект оптимизированного плавучего энергоблока с РУ РИТМ-200М (далее – ОПЭБ). Проектирование ОПЭБ осуществлялось с учетом возможности его эксплуатации за рубежом, в том числе, в странах, которые относятся к числу государств, не обладающих ядерным оружием, согласно терминологии Договора о нераспространении ядерного оружия [1]. Согласно Договору о нераспространении ядерного оружия РФ относится к государствам, обладающим ядерным оружием, и ставить под гарантии свои объекты использования атомной энергии не обязана, что регулируется соответствующим соглашением с МАГАТЭ (INFCIRC/327, INFCIRC/327/Add.1.) [2]. Однако при перемещении ОПЭБ на площадку эксплуатации в государство, не обладающее ядерным оружием, такое государство будет обязано поставить ОПЭБ под гарантии МАГАТЭ. Права и обязанности МАГАТЭ, государства-импортера и государства-поставщика зафиксированы в типовых Соглашениях INFCIRC/153 (статьи 92-96) «Структура и содержание Соглашений между Агентством и государствами, требуемых для связи с Договором о нераспространении ядерного оружия» [3], Соглашении INFCIRC/327 (статья 89) «Дополнительный протокол между РФ и МАГАТЭ к Соглашению между СССР и МАГАТЭ о применении гарантий в СССР» и документе INFCIRC/207 «Уведомление Агентства об экспорте и импорте ядерного материала» [4]. Данные документы устанавливают требования по информированию МАГАТЭ о международных передачах ядерного материала, а также регламентируют порядок проверки инспекторами МАГАТЭ ядерного материала.

Принимающее государство должно будет предоставить МАГАТЭ информацию о ядерном материале и установке как можно раньше [4] после принятия решения о размещении ОПЭБ на своей территории. Используя информацию о конструкции, схеме установки, форме, количестве, нахождении и движении ядерного материала, МАГАТЭ разрабатывает уникальный подход к применению гарантий с учетом характеристик объекта.

В отличие от подходов к постановке под гарантии водо-водяных реакторов большой мощности, в области атомных станций малой мощности отсутствует достаточный опыт применения гарантий МАГАТЭ, позволяющий использовать типовые подходы. Для адаптации существующих подходов и процедур МАГАТЭ потребуется изучение конструктивных особенностей ОПЭБ и алгоритмов обращения с

ядерным материалом на его борту. При этом необходимо учитывать, что технические решения ОПЭБ и предлагаемая модель эксплуатации исключают проведение операций по обращению с топливом на площадке размещения.

Описание ОПЭБ и модель эксплуатации

ОПЭБ представляет собой несамоходное судно с двумя РУ на борту (рис. 1) общей электрической мощностью 100 МВт (нетто). Размещение РУ в ограниченном пространстве требует применения технических решений, обеспечивающих не только безопасность эксплуатации, но также компактность оборудования. По сравнению с ПЭБ «Академик Ломоносов» водоизмещение ОПЭБ уменьшено на 4320 тонн, в том числе, благодаря использованию РУ РИТМ-200М.



Рисунок 1. Оптимизированный плавучий энергоблок (ОПЭБ)
Figure 1. Optimized Floating Power Unit (OFPU)

Реакторные установки серии РИТМ – это разработка АО «ОКБМ Африкантов». В настоящее время РУ этой же серии установлены на универсальных атомных ледоколах «Арктика», «Сибирь», «Урал». Первые два уже введены в эксплуатацию и входят в состав ледокольного флота РФ. Строящиеся по аналогичному проекту ледоколы «Якутия» и «Чукотка» также будут оснащены РУ серии РИТМ. На рисунке 2 представлена операция погрузки РУ РИТМ-200 для головного атомного ледокола «Арктика». Использование на борту ОПЭБ РУ РИТМ-200М позволяет увеличить электрический выход на 40% по сравнению с РУ КЛТ-40С, при этом габариты РУ РИТМ-200М приблизительно на 45% меньше [5]. Каждая РУ размещается в своей защитной оболочке, которая служит надёжным барьером к распространению радиоактивных продуктов в окружающую среду и обеспечивает безопасность персонала. Особенностью российских проектов плавучих энергоблоков является наличие защитной оболочки, выполненной из бетона. Целостность защитной оболочки обеспечивается предохранительным клапаном сброса избыточного давления, системой охлаждения защитной оболочки и рекомбинаторами водорода. [6].



Рисунок 2. Погрузка РУ РИТМ-200 для головного атомного ледокола «Арктика»
Figure 2. Loading the RITM-200 reactor plant for the lead nuclear-powered icebreaker «Arktika»

В проекте РУ РИТМ-200М используется активная зона кассетного типа с металлокерамическим топливом. Топливо содержится в форме частиц, размещенных в матрице из алюминиевого сплава, что обеспечивает высокую теплопроводность. Обогащение ядерного топлива составляет менее 20%, длительность топливной кампании в зависимости от коэффициента использования установленной мощности при эксплуатации составляет до 10 лет.

В заводских условиях плавучий энергоблок изготавливается до стадии полной готовности к эксплуатации. На специализированном предприятии осуществляется загрузка топлива, проводятся комплексные швартовные испытания, и осуществляется физпуск реакторной установки. Это позволяет минимизировать объём строительно-монтажных работ на площадке размещения. ОПЭБ является самоходным судном, поэтому к месту эксплуатации его доставляют на борту судна-дока либо, на небольшие расстояния, с помощью буксировки. На площадке размещения ОПЭБ обеспечивается жесткое крепление ОПЭБ к береговым гидротехническим сооружениям, которые обеспечивают безопасность эксплуатации и передачу электроэнергии на берег. На площадке размещения обеспечивается ежегодное профилактическое обслуживание оборудования, при этом никакие операции с топливом на площадке размещения производиться не будут. После окончания назначенного периода эксплуатации, который определяется исходя из потребностей заказчика, производится остановка РУ, после чего ОПЭБ транспортируется на специализированное предприятие в РФ, где производится перегрузка топлива.

Назначенный срок службы ОПЭБ составляет 60 лет с ежегодным профилактическим обслуживанием, заводским ремонтом с периодичностью до 10 лет и капитальным ремонтом через 20 лет эксплуатации. Модель эксплуатации предполагает, что заводской ремонт ОПЭБ будет совмещен по времени проведения с перегрузкой ядерного топлива.

Концепция обращения с ядерным топливом

Корпус ОПЭБ достаточно компактный по сравнению с плавучим энергоблоком «Академик Ломоносов», и на борту ОПЭБ отсутствуют хранилище свежего ядерного топлива, хранилище отработавшего ядерного топлива, перегрузочное и грузоподъемное оборудование, без которого невозможно вскрыть ядерный реактор. Отсутствие перегрузочного оборудования и ограниченное количество помещений, необходимых для обращения с ядерным материалом, важно с точки зрения применения подходов к осуществлению гарантий МАГАТЭ.

Конструктивные особенности РУ РИТМ-200М исключают возможность перегрузки топлива под водой с применением машины перегрузочной, и в проекте ОПЭБ используется технология выгрузки топлива из реактора с помощью перегрузочного контейнера. Аналогичная технология выгрузки отработавшего ядерного топлива применяется на плавучем энергоблоке «Академик Ломоносов», а также при перезарядке атомных ледоколов.

Безопасность перегрузки обеспечивается, в том числе, за счет выбора конструкционных материалов и оптимальных толщин конструкций оборудования для выполнения требований по защите персонала от излучения, а также использования свойств внутренней самозащищенности контейнера с необходимыми запасами воды и наличием средств для оперативного восполнения её запасов. Уровень безопасности данной технологии в целом соответствует положениям документа SSG-63 Design of Fuel Handling and Storage Systems for Nuclear Power Plants [7].

Загрузка ядерного топлива в реактор реализуется по следующей схеме. Свежее топливо с соответствующей сопроводительной документацией доставляется на место обслуживания ОПЭБ. Для его загрузки в реактор принимают соответствующие меры безопасности, которые не предусматривают хранение ядерного топлива на борту

ОПЭБ, а регламентируют загрузку в реактор сразу. Топливо перегружается в пенал, который представляет собой негерметичную корзину для перемещения новых тепловыделяющих сборок в зону загрузки ядерного топлива в реактор. После загрузки полной активной зоны реакторы ОПЭБ герметизируются и опечатываются. С этого момента без использования специального оборудования доступ к ядерному топливу исключен.

По завершению загрузки топлива ОПЭБ отправляется на место эксплуатации. По завершению топливной кампании ОПЭБ транспортируется обратно на специализированное предприятие в РФ, где осуществляется перегрузка.

Перегрузка активных зон реализовывается после остановки реакторной установки, полного или частичного её расхолаживания и сброса давления первого контура до атмосферного. Работы по перегрузке активных зон должны выполняться с использованием перегрузочного комплекса и необходимой инфраструктуры. На специализированном предприятии производятся операции по демонтажу крышки реактора, выгрузке отработавшего ядерного топлива из реакторной установки и загрузке свежего топлива в реакторы.

Проведение каких-либо операций с топливом или с открытым реактором в стране размещения не предусмотрено. Для получения доступа к ядерному материалу необходимо специальное оборудование и грузоподъемные средства, которые позволят демонтировать крышку реактора и часть внутрикорпусных устройств для извлечения ядерного топлива. Указанное оборудование является высокотехнологичным и требует специальных знаний о конструкции реакторной установки и активной зоны, обладает большими габаритами и не может быть незаметно размещено внутри ОПЭБ. Размещение требуемого оборудования рядом с ОПЭБ на площадке эксплуатации может быть выявлено с помощью спутниковых снимков.

Подходы к применению гарантий МАГАТЭ при эксплуатации ОПЭБ

МАГАТЭ каждый год [8] формирует уникальный план к применению гарантий и обеспечению режима нераспространения с учетом характеристик объекта. МАГАТЭ также определяет виды проверок, которые будут проведены в отношении конкретного объекта. В частности, МАГАТЭ может осуществлять проверку фактически наличного количества ядерного материала, информации о конструкции, схеме установки, форме и так далее. Так называемые полевые проверки [8] включают в себя как непосредственное взаимодействие с ядерным материалом, так и проверку документации. В частности, оценивается фактически наличное количество ядерного материала – это сумма всех измеренных или выведенных оценок количеств ядерного материала в партии, фактически имеющихся в наличии в данное время в зоне баланса материала, полученных в соответствии с согласованными процедурами [9]. В проекте ОПЭБ зона баланса материалов может быть определена в пределах отсека с реакторными установками, так как это единственное помещение на борту ОПЭБ, где может находиться ядерный материал. Соответственно все проверки со стороны МАГАТЭ целесообразно проводить только в этом отсеке.

С технической точки зрения в период эксплуатации ОПЭБ на площадке размещения в стране-заказчике предусмотренная процедурами МАГАТЭ проверка фактически наличного количества ядерного материала может проводиться ежегодно. Однако эффективность и целесообразность этой проверки будет минимальной, так как все процедуры, проводимые сотрудниками МАГАТЭ, сведутся к проверке документации по ядерному материалу. В этот период информация, представленная в документации, не может быть верифицирована с помощью проверки фактического наличного количества ввиду отсутствия доступа к ядерному материалу.

С точки зрения применения гарантий МАГАТЭ и обеспечения режима нераспространения на месте эксплуатации ОПЭБ единственной эффективной

процедурой представляется контроль отсутствия несанкционированного доступа в реактор, а также внутрь ОПЭБ через люковые закрытия аппаратной извне. Эта задача может быть решена с помощью обоснованного применения оборудования мер сохранения и наблюдения. Такое оборудование выступает гарантом отсутствия несанкционированного доступа к ядерному материалу и позволяет подтвердить, что в период между перегрузками топлива никаких несанкционированных операций с ядерным материалом не совершалось. Представляется целесообразным использование камер видеонаблюдения и пломб, фиксирующих открытие люковых закрытий аппаратной и крышки реактора. Ключевой задачей инспекторов МАГАТЭ в ходе очных инспекций будет подтверждение целостности пломб и камер, чтобы подтвердить отсутствие вмешательства, которое могло привести к изменению показаний.

Также может быть оценена возможность дистанционного контроля показаний оборудования мер сохранения и наблюдения, что позволит снизить финансовые затраты на проведение очных проверок инспекторами МАГАТЭ.

В связи с тем, что оборудование мер сохранения и наблюдения не должно мешать нормальной эксплуатации ОПЭБ, разработчику проекта ОПЭБ необходимо предусмотреть возможность размещения этого оборудования на этапе проектирования.

Подход к применению гарантий МАГАТЭ при загрузке и перегрузке ОПЭБ

В период загрузки ядерного топлива в реакторы ОПЭБ имеется возможность проводить проверку фактически наличного количества ядерного материала. Такая процедура потребует очного присутствия инспекторов МАГАТЭ и может быть организована на основе специальных договоренностей.

В пределах зоны баланса материалов проверки в отношении ядерного материала на борту ОПЭБ могут быть осуществлены в четырех ключевых точках измерения, на вход и на выход ядерного материала в помещение каждой из двух реакторных установок. Ключевая точка измерения движения ядерного материала и ключевая точка измерения для определения инвентарного количества ядерного материала могут находиться поблизости от входного люка на ОПЭБ и в помещении реакторной установки. Схематичное изображение размещения ключевых точек измерения представлено на рисунке 3.

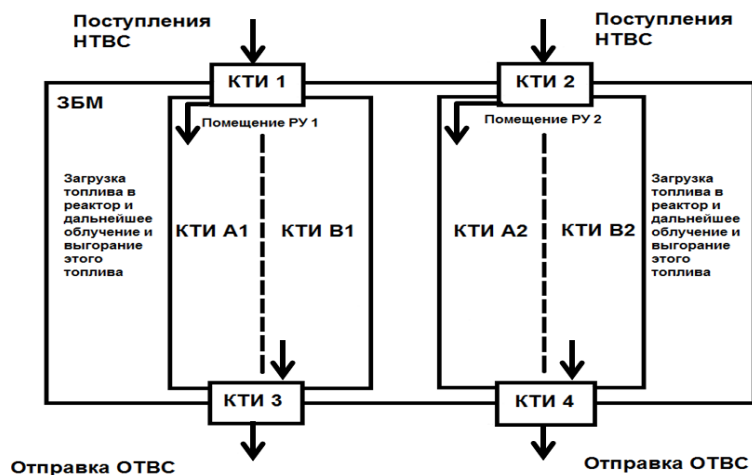


Рисунок 3. Ключевые точки измерения на борту ОПЭБ
Figure 3. Key measurement points (KMPs) on board the OFPU

В рамках проверки по контролю движения ядерного материала на борту ОПЭБ сотрудники МАГАТЭ могут осуществить сверку заводских номеров свежих тепловыделяющих сборок с заявленными в документации номерами. Также они могут определить вес тепловыделяющих сборок и сверить его с заводскими показателями. Также может осуществляться проверка даты выгрузки (отправки) по журналу.

При выгрузке отработавшего ядерного топлива может осуществляться только проверка учетной документации. Процедуры по отношению к определению выгорания, ядерных потерь общего количества и количества делящегося изотопа урана, а также ядерного производства плутония и другие процедуры в отношении отработавшего ядерного топлива на борту ОПЭБ не являются релевантными, так как отработавшее ядерное топливо извлекается из реакторной установки на территории РФ, не хранится на борту ОПЭБ и сразу покидает пределы судна. Соответственно, у страны размещения отсутствуют обязательства по постановке под гарантии МАГАТЭ в отношении отработавшего ядерного топлива. Дальнейшее обращение с отработавшим ядерным топливом осуществляется в РФ.

При этом необходимо отметить, что, если данные оборудования мер сохранения и наблюдения за период эксплуатации подтверждают отсутствие несанкционированного доступа к ядерному материалу, любые проверки отработавшего ядерного топлива будут избыточными.

Выводы

Существующие процедуры МАГАТЭ по применению гарантий и проверки отсутствия несанкционированного изъятия или переключения ядерного материала основаны на опыте конвенциональных атомных станций большой мощности в наземном исполнении. Физическое место расположения этих станций фиксировано, а перемещение ядерного материала строго декларируется. В отношении ОПЭБ подобные процедуры МАГАТЭ потребуют адаптации, так как в рамках жизненного цикла место размещения ОПЭБ может быть изменено как в пределах одной страны, так и перенесено в другое государство. При этом страна-поставщик ОПЭБ, страна размещения ОПЭБ, а также мировое сообщество должны быть уверены, что ядерный материал, используемый на ОПЭБ, не подвергся несанкционированным действиям и не будет использован для целей создания ядерного оружия. Гарантом непереключения ядерного материала выступает МАГАТЭ.

Модель эксплуатации ОПЭБ предполагает, что в течение эксплуатации ОПЭБ на площадке в стране размещения доступ к ядерному материалу отсутствует, а все операции по обращению с топливом производятся в РФ на специализированном предприятии. МАГАТЭ может осуществлять проверку учетной документации, а также запрашивать данные о расчетных показателях состояния топлива в реакторе, однако эти показатели невозможно будет верифицировать путем фактической проверки. В период эксплуатации ОПЭБ на площадке размещения ключевое значение будут иметь меры сохранения и наблюдения, а также показатели соответствующего оборудования, подтверждающего отсутствие несанкционированного доступа к ядерному материалу ОПЭБ в течение всего периода эксплуатации. Оптимизация порядка проведения инспекций на площадке размещения позволит адаптировать механизмы гарантий к инновационному дизайну ОПЭБ и аналогичных транспортируемых установок с загрузкой топлива на заводе-изготовителе.

Ввиду невозможности выполнить в ходе эксплуатации на площадке размещения проверку фактически наличного ядерного материала в связи с отсутствием доступа к нему, такая проверка может быть проведена при загрузке топлива в реактор. С юридической точки зрения это может быть сделано на основе специальных договоренностей между страной-поставщиком и МАГАТЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Договор о нераспространении ядерного оружия [Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons]. United Nations – Treaty Series. Vol. 729-13. P. 184-190. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/npt.shtml (дата обращения: 06.12.2022)
2. NFCIRC/327 The Text of the Agreement of 21 February 1985 Between the Union of Soviet Socialist Republics and the Agency for the Application of Safeguards in the Union of Soviet Socialist Republics. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc327_rus.pdf (дата обращения: 02.10.2022)

3. INFCIRC/153 Структура и содержание соглашения между агентством и государствами, требуемых в связи с договором о нераспространении ядерного оружия. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc153_rus.pdf (дата обращения 02.10.2022)

4. INFCIRC/207 Notification to the agency of exports and imports of nuclear material. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infircs/1974/infirc207.pdf> (дата обращения: 02.10.2022)

5. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. A Supplement to IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS). URL: <http://aris.iaea.org> (дата обращения: 01.09.2022)

6. Петрунин В.В. Плавающие энергоблоки с РУ РИТМ-200М. *Вопросы Атомной Науки и Техники. Серия: Физика Ядерных Реакторов*. 2019;(1):91-96.

7. Проектирование систем обращения с топливом и его хранения для атомных электростанций. Серия Стандартов безопасности МАГАТЭ № SSG-63. МАГАТЭ. Вена (2020). URL: <https://www.iaea.org/publications/13524/design-of-fuel-handling-and-storage-systems-for-nuclear-power-plants> (дата обращения: 01.09.2022)

8. Федеральные нормы и правила Госатомнадзора РФ от 09.07.2001 №7 в области использования атомной энергии «Основные правила учета и контроля ядерных материалов» (НП-030-01). URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293852/4293852184.htm> (дата обращения: 02.10.2022)

9. Гарантии МАГАТЭ. Глоссарий. Серия международного контроля № 3. 2001. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Glossary_russian.pdf (дата обращения: 06.12.2022)

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Статья выполнена без привлечения внешних источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликты интересов отсутствуют.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сергей Анатольевич Душев, главный конструктор оборудования обращения с топливом АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: dushev@okbm.nnov.ru

Игорь Вячеславович Шмелев, начальник департамента внешнеэкономической деятельности и развития новых бизнесов АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: shmelev@okbm.nnov.ru

Павел Анатольевич Горбунов, заместитель главного конструктора РУ ВВР по проекту КЛТ-40 АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: gorbunov@okbm.nnov.ru

Надежда Александровна Сальникова, начальник отдела сопровождения инвестиционных проектов АСММ АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8827-867X>; e-mail: salnikovana@okbm.nnov.ru

Алексей Дмитриевич Абросимов, начальник бюро оборудования обращения с ЯТ для АС малой мощности и судовых РУ отдела конструирования комплексов и оборудования перезарядки транспортных ЯЭУ и АС АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: abrosimov-ad@okbm.nnov.ru

Владимир Владимирович Мальев, инженер 2 категории отдела сопровождения инвестиционных проектов АСММ АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5023-6455>; e-mail: malev.vladimir@okbm.nnov.ru

Татьяна Алексеевна Тагирова, инженер 3 категории отдела сопровождения инвестиционных проектов АСММ АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9418-9298>; e-mail: tagirova.t@okbm.nnov.ru

Поступила в редакцию 16.12.2022
После доработки 04.04.2023
Принята к публикации 13.04.2023

FUNDING:

The article was written without attracting external sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST:

There are absent conflicts of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Sergey A. Dushev, Chief Designer of Fuel Handling Equipment, Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: dushev@okbm.nnov.ru

Igor V. Shmelev, Head of the Division for Foreign Economic Activities and Business Development, Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: shmelev@okbm.nnov.ru

Pavel A. Gorbunov, Deputy Chief Designer of PWR Plants for the KLT-40 Project, Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: gorbunov@okbm.nnov.ru

Nadezhda A. Salnikova, Head of the SMR Projects Support Department, Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8827-867X>; e-mail: salnikovana@okbm.nnov.ru

Aleksey D. Abrosimov, Head of Group Design Department for Refueling Systems and Equipment for Propulsion Nuclear Power Facilities and NPPs, Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: abrosimov-ad@okbm.nnov.ru

Vladimir V. Malev, Engineer (Category 1) of the SMR Projects Support Department, Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5023-6455>; e-mail: malev.vladimir@okbm.nnov.ru

Tatyana A. Tagirova, Engineer (Category 3) of the SMR Projects Support Department, Joint Stock Company «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9418-9298>; e-mail: tagirova.t@okbm.nnov.ru

Received 16.12.2022
Revision 04.04.2023
Accepted 13.04.2023