

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21>

УДК 621.039.5

БАРЬЕРЫ НА ПУТЯХ ЯДЕРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ЭКСПОРТЕ РОССИЙСКИХ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ С ЗАМКНУТЫМ ЯТЦ (НА ПРИМЕРЕ БРЕСТ-ОД-300)

¹⁾ Горин Н.В., ¹⁾ Кузнецов Е.В., ²⁾ Кучинов В.П., ³⁾ Чебесков А.Н.,

⁴⁾ Моисеев А.В., ⁵⁾ Шидловский В.В., ⁵⁾ Кривцов А.В.

¹⁾ ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия

²⁾ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

³⁾ АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», Обнинск, Россия

⁴⁾ АО НИКИЭТ им. Н.А. Доллежале, Москва, Россия

⁵⁾ АО «Прорыв», Москва, Россия

E-mail для контактов: nvgorin@mail.ru

В течение ближайших десятилетий возможно начало экспорта быстрых реакторов с замкнутым ядерным топливным циклом в страны, не обладающие ядерным оружием, что потребует усиления режима ядерного нераспространения и повышения эффективности гарантий МАГАТЭ. Этого можно достичь как созданием технических барьеров, так и совершенствованием системы учета и контроля ядерных материалов и обеспечением их надежной физической защитой. На примере строящегося реактора БРЕСТ-ОД-300 в составе опытно-демонстрационного энергетического комплекса выполнен анализ конструктивных и технологических особенностей, которые препятствуют или серьёзно затрудняют переключение ядерных материалов и использование не по назначению ядерных установок и технологий государством-импортёром для производства ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств в нарушение принятых на себя международных обязательств.

Ключевые слова: реакторы на быстрых нейтронах, замкнутый ядерный топливный цикл, экспорт, режим нераспространения, ядерные материалы, физическая защита.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время человечество одновременно столкнулось с тремя основными вызовами – пандемией коронавируса, глобальным потеплением и загрязнением окружающей среды. Пандемия временно оттеснила на второй план проблемы глобального потепления и экологии и затронула все сферы человеческой деятельности. После завершения первоочередных мер борьбы с коронавирусом на первый план вновь выходят прежние, не менее серьезные вызовы – глобальное потепление и загрязнение окружающей среды с их одновременным влиянием на здоровье людей и природу. Возможно, что у этих двух вызовов общая причина, связанная со сжиганием углеводородных энергоносителей на производстве, транспорте и в быту. Дискуссии по этому вопросу в научной среде продолжаются уже достаточно долго, но окончательного решения пока не найдено [1, 2].

Проблемы энергетики и экологии актуальны, и не только в России, что подтверждается позицией Президента и Правительства РФ¹, а МИД РФ назвал основные инструменты борьбы с изменением климата². Один из них заключается в использовании атомной энергетики, которая должна заменить сжигание углеводородов. В РФ принята «Стратегия 2018» с реакто-

рами на быстрых нейтронах (РБН) и замкнутым ЯТЦ, которые станут основой энергетической и экологической безопасности³ после переходного периода продолжительностью ~50 лет с одновременным существованием быстрых и тепловых реакторов.

Можно прогнозировать:

- экологически чистая атомная энергетика распространится по всему миру, так как никакая другая не справится с производством энергии в масштабах десятка и более млрд т нефтяного эквивалента без загрязнения окружающей среды [3, 4];

- доля атомной энергии в энергетическом балансе неизбежно будет возрастать и вытеснять традиционные способы получения энергии на станциях при сжигании углеводородного топлива;

- атомная энергетика только с тепловыми реакторами и открытым ЯТЦ с этими задачами не справится из-за ограниченности ресурсов ²³⁵U, нарастающих масштабов накопления и обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами;

- в основе нового энергетического направления РБН и замкнутым ЯТЦ лежат достаточно сложные и наукоемкие технологии. РФ и КНР, которые в настоящее время лидируют в работах над их созданием и,

¹ Прямая линия Президента РФ 30.06.21 // Вести [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vesti.ru/video/2313066> (дата обращения 01.07.2021)

² МИД назвал основные инструменты борьбы с изменением климата <https://ria.ru/20211102/mid-1757317457.html> (дата обращения 03.11.21)

³ План на 100 лет – «Росатом» принял долгосрочную стратегию развития ядерной энергетики // Страна Росатом [Электронный ресурс]. URL: <https://strana-rosatom.ru/2019/02/05/den-nauki-kruglyj-god> (дата обращения 01.11.2021).

скорее всего, первыми доведут свои исследования до готового коммерческого продукта не смогут обеспечить энергией все население мира, поэтому неизбежен экспорт энергетических технологий, в том числе российских;

— экспорт должен быть заранее подготовлен не только специалистами атомной отрасли, но прежде всего государственными структурами в интересах формирования востребованного отношения населения к атомной энергетике вначале в России [5–7], а затем и в других странах, прежде всего в странах-импортерах.

— экспорт РБН совместно с установками замкнутого ЯТЦ формально не запрещен ни российским, ни международным правом. Он будет принят мировой общественностью только при соблюдении режима ядерного нераспространения и возможности эффективного применения гарантий МАГАТЭ в течение жизненного цикла как реактора, так и установок замкнутого ЯТЦ.

Лучший аргумент в пользу российских технологий РБН с замкнутым ЯТЦ это пример их успешной эксплуатации в России. При этом подразумевается не только экономическая выгода, но и отсутствие выбросов в атмосферу углекислого газа и потребления кислорода производственными предприятиями, решение проблем высокоактивных отходов и ядерного нераспространения и обеспечение топливом атомных станций на ближайшие несколько сотен лет. Один из важнейших факторов – безопасность реактора, основанная на присущих ему внутренних физических принципах и фундаментальных законах природы, а не только за счет усложнения инженерных технических решений и организационных мероприятий. Такая безопасность РБН гарантирует отсутствие рисков аварий, требующих эвакуации населения.

Все это может обеспечить поддержку населением ядерных технологий РБН и замкнутого ЯТЦ. Для этого необходима целенаправленная информационная работа по разъяснению как вопросов безопасной эксплуатации РБН с замкнутым ЯТЦ, так вопросов соблюдения международного режима нераспространения ядерного оружия (ядерного нераспространения).

СОБЛЮДЕНИЕ РЕЖИМА ЯДЕРНОГО НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ

Экспорт РБН совместно с установками замыкания ЯТЦ, может вызвать тревогу у политиков и мировой общественности в связи с потенциальными рисками распространения ядерного оружия. Важными особенностями РБН и установок замыкания ЯТЦ по сравнению с тепловыми реакторами является более высокая доля плутония в топливных сборках (ТВС) и большее количество плутония на всех этапах ЯТЦ, находящегося как в форме учетных единиц (например, плутоний в ТВС), так и в балк форме (например, плутоний в порошках и растворах, находящийся, например, на перерабатывающем заводе). Действительно в РБН существует потенциальная возможность на-

работки плутония оружейного качества в зоне воспроизводства (при её наличии), поскольку имеются две необходимые составляющие: нейтроны и воспроизводящий материал ^{238}U . Однако следует отметить, что весь существующий оружейный плутоний произведен в тепловых реакторах и нет фактов о его значительном производстве в реакторах с быстрым спектром нейтронов [8].

Ответ на такую серьезную озабоченность заключается в существовании технических барьеров в ЯТЦ РБН и применяемых внешних (институциональных) мер, затрудняющих переключение используемых ядерных материалов на производство ядерного оружия, а также затрудняющих использование не по назначению установок и технологий атомной энергетики. Важнейшими из внешних мер являются гарантии МАГАТЭ в государстве импортере РБН и установок замыкания ЯТЦ, как это осуществляется сейчас в случае экспорта реакторов на тепловых нейтронах.

ГАРАНТИИ МАГАТЭ И ЭКСПОРТ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В настоящее время системой гарантий МАГАТЭ не предусматривается особый порядок контроля и проверки обязательств государства-импортера при экспорте РБН и установок замкнутого ЯТЦ. Гарантии МАГАТЭ в государстве, не обладающим ядерным оружием и имеющим соглашение о гарантиях с МАГАТЭ в связи с ДНЯО, применяются в отношении *всего* ядерного материала (ЯМ) во *всей* мирной ядерной деятельности этого государства для проверки того, чтобы такой материал не переключался на ядерное оружие или другие ядерные взрывные устройства.

Необходимо учитывать, что соглашения о гарантиях заключается МАГАТЭ с государством-импортером и процедуры и методы контроля плутония в замкнутом ЯТЦ будут обсуждаться с государством-импортером, а не с Россией, как государством-экспортёром. Однако, в случае намерения России экспортировать РБН и технологии замкнутого ЯТЦ, эффективность мер контроля плутония должна будет учитываться при проектировании технологического процесса. Это намерение также должно обсуждаться с государствами-членами Группы ядерных поставщиков (ГЯП), поскольку в соответствии с пунктом 17 b) Руководящих принципов для ядерного экспорта (INFCIRC/254/Rev.12/Part 1) до начала передач установок, оборудования или технологии по обогащению или переработке поставщики должны провести консультации с участвующими в работе ГЯП правительствами относительно связанных с ядерным нераспространением положений и условий, применимых к передаче.

Рабочая группа Госкорпорации «Росатом» в 2018 г. рассмотрела условия экспорта из РФ РБН и установок замкнутого ЯТЦ и заключила, что такой экспорт возможен с соблюдением требований соответствующих международных договоров и соглаше-

ний, требований российского экспортного законодательства и не требует модификации существующего международного законодательства. Однако при экспорте в государства, не обладающие ядерным оружием, необходимо обязательное участие РФ в эксплуатации и в управлении замкнутым ЯТЦ и соблюдение баланса производства и потребления плутония без его выхода за контур энергокомплекса. Это станет надежным дополнением к применению гарантий МАГАТЭ.

БАРЬЕРЫ НА ПУТЯХ ВОЗМОЖНОГО ЯДЕРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Качества ЯМ, особенности технологии и институциональные механизмы представляют собой барьеры, которые создают трудности при использовании гражданских ядерных энергетических систем (ЯЭС) в целях создания ядерного оружия или ядерных взрывных устройств. Конкретная форма и значения атрибутов (характеристик) таких барьеров меняются в зависимости от конкретной рассматриваемой системы. Внешние институциональные барьеры зависят от деталей их реализации и призваны компенсировать недостатки внутренне присущих барьеров.

Барьеры не представляют из себя абсолютной защиты, их можно преодолеть с помощью комбинации технологий и инженерных решений. Вместе с тем, более эффективные барьеры требуют больших ресурсов и усилий для их преодоления, чем менее эффективные барьеры. Барьеры тоже не действуют независимо друг от друга, и эффект применения сразу нескольких барьеров может быть больше, чем сумма их индивидуальных эффектов. В общем, барьеры, обусловленные свойствами ЯМ, – это те качества, которые затрудняют использование их для производства ядерного взрывного устройства. Они включают изотопный состав, плотность материала, его химическую форму, его радиационную опасность и отслеживаемые основные характеристики ЯМ на каждом этапе ЯТЦ гражданской ЯЭС и в любом процессе создания материала, пригодного для оружейного применения, а также мониторинг и детектирование (обнаруживаемость) и сложность движения массы и/или объема ЯМ.

Другой набор внутренне присущих технических барьеров – это технические и связанные с ними элементы самого ЯТЦ, включая установки и оборудование, которые служат для того, чтобы затруднить доступ к ЯМ или использовать установки не по назначению для получения оружейно-пригодных материалов. Эти технические препятствия, подобно барьерам, обусловленным свойствами ЯМ, являются внутренне присущими системе, в отличие от внешних институциональных мер, и могут значительно повлиять на осуществимость ядерного распространения.

Сложность и/или временные затраты, связанные с потенциальным изменением или реконфигурацией установки или технологического процесса для производства ЯМ оружейного качества, – еще один пример

внутренне присущего технического барьера. Темп наработки нужного ЯМ является еще одним техническим барьером, по крайней мере, в той степени, в которой процессы с низким темпом наработки могут быть менее привлекательными или могут иметь повышенную вероятность обнаружения переключения. Например, более вероятно, что переключение 1 кг ЯМ будет замечено в процессе, в котором задействовано 100 кг/день ЯМ, чем в процессе при обработке 1000 кг/день. Следует учитывать, что преодоление технических барьеров требует специальных знаний, навыков, инструментов, материалов и принадлежностей.

Оба типа барьеров – барьеры, обусловленные свойствами ЯМ, и технологические барьеры связаны с внутренне присущей природой конкретного ЯТЦ и зависят от его конкретной организации. С другой стороны, институциональные барьеры, будь то методы применения гарантий МАГАТЭ, средства контроля и учета ЯМ, а также меры, предназначенные для защиты от различных террористических угроз, полностью или частично компенсируют недостатки внутренне присущих барьеров, связанных со свойствами ЯМ, или технических барьеров, или других особенностей ЯЭС, способствующих ядерному распространению.

Применимость институциональных барьеров для гражданской ЯЭС, зависит от эффективности внутренне присущих барьеров этой системы. В свою очередь, внутренне присущие барьеры могут оказывать значительное влияние на повышение эффективности процедур гарантий МАГАТЭ – физической безопасности в целом и СУиК ЯМ.

В настоящее время существует несколько методологий оценки устойчивости с точки зрения ядерного нераспространения, которые могут служить также для сравнения различных концепций ЯЭС с точки зрения сопротивляемости ядерному распространению. Поэтому при рассмотрении инновационных концепций ЯЭС, в частности ЯЭС с РБН и замкнутым ЯТЦ, целесообразно отталкиваться от референтных, практически реализованных в настоящее время концепций ЯЭС, в качестве примера которых может служить ЯЭС с реакторами LWR. Следует отметить, что любые сравнения, которые проводятся здесь, не означают, что какая-то ЯЭС и ЯТЦ лучше или хуже референтного цикла реакторов LWR (взятого для сравнения) в аспекте устойчивости к ядерному нераспространению. Например, одна ЯЭС и ЯТЦ может быть лучше по изотопному барьеру, но уступать референтному циклу реакторов LWR по барьеру обнаруживаемости переключения ЯМ.

БАРЬЕРЫ НА ПРИМЕРЕ РЕАКТОРА БРЕСТ

Реактор на быстрых нейтронах БРЕСТ с нитридным уран-плутониевым топливом и свинцовым теплоносителем создается для специфического станционного замкнутого топливного цикла. Основные особенности его технологии, позволяющие создать

следующие технические барьеры на возможных путях потенциальных нарушений режима ядерного нераспространения:

- плотное теплопроводное топливо на основе (U-Pu-MA)N,
- химически инертный свинцовый теплоноситель при контакте с водой и воздухом окружающей среды,
- отсутствие зон воспроизводства топлива,
- замкнутый топливный цикл без обогащения и без выделения делящихся изотопов.

Использование в быстрых реакторах мононитридного уран-плутониевого топлива высокой плотности и теплопроводности позволяет принципиально изменить конструкцию и параметры быстрого реактора и, прежде всего, отказаться от уранового blankets. Исключение уранового blankets в быстрых реакторах с полным воспроизводством плутония в активной зоне (КВА~1) создаёт необходимые предпосылки для технологической поддержки режима ядерного нераспространения. Вместо уранового blankets в конструкцию введен свинцовый отражатель, что, как показали соответствующие расчеты и эксперименты, заметно улучшает нейтронно-физические характеристики активной зоны и параметры безопасности реактора.

Стартовая загрузка активной зоны реактора БРЕСТ формируется из смеси плутония с природным или обедненным ураном. При этом плутоний получается при переработке ОЯТ реакторов ВВЭР. Изготовление первых загрузок быстрых реакторов при их широком массовом внедрении приведет к постепенному освобождению хранилищ выделенного плутония и переработки всего объема хранящегося в бассейнах выдержки отработавшего топлива современных АЭС для его переработки. С точки зрения режима ядерного нераспространения это будет самое заметное действие по снижению количества плутония на нашей планете. Однако отметим, что стартовая загрузка реактора БРЕСТ может вместо плутония использовать также обогащенный уран.

Одним из ключевых моментов применения плутония в быстрых реакторах нового поколения является использование топлива равновесного состава. В этом случае масса и изотопный состав загружаемого и выгружаемого в конце кампании плутония и минорных актинидов практически остаются неизменными. В выгружаемом топливе в конце кампании уменьшается количество урана-238 относительно исходного, что должно быть компенсировано при изготовлении новой топливной загрузки. При переработке отработавшего топлива выделяется продукт – смесь плутония, урана, МА с небольшой долей продуктов деления. К этой смеси добавляется уран-238 и этот материал служит для изготовления новой топливной загрузки. При этом нет необходимости добавлять плутоний. В этом и состоит смысл топлива равновесного состава.

Топливный цикл реакторов БРЕСТ можно разделить на следующие этапы, которые совпадают с этапами замкнутого топливного цикла традиционного быстрого реактора за исключением цикла воспроизводства экранов:

- облучение топлива в реакторе,
- послереакторная выдержка облученных ТВС и их перемещение в цех по регенерации,
- разделка ТВС, извлечение топлива и отделение стальных элементов ТВС,
- радиохимическая переработка топлива,
- корректировка топливной смеси,
- изготовление нитридных таблеток,
- изготовление ТВЭЛов и ТВС,
- временное хранение,
- транспортировка в реактор.

Важным результатом топливного цикла является отсутствие этапа обогащения урана и его использования для изготовления топлива. Поэтому, критерий удовлетворения принципам нераспространения трансформируется только в требование к радиохимической технологии переработки облученного топлива не допускать разделения урана и плутония на всех стадиях процесса переработки. Физические особенности реактора на быстрых нейтронах допускают неполную очистку топлива от продуктов деления при переработке (остаток продуктов деления от 1% до 5%). Кроме этого в топливе остаются для трансмутации америций, нептуний и часть кюрия. Вместе указанные примеси в топливе создают высокий уровень радиоактивности (примерно 50 Ки/кг при остатке продуктов деления в топливе 1%) и являются внутренней физической (радиационной) защитой топлива от переключения, включая несанкционированное изъятие. Не выделяющая плутоний радиохимическая переработка сводится в основном к очистке топлива от продуктов деления. Кроме этого, весь циклический оборот топлива сосредоточен в здании реактора и примыкающем к нему здании топливного цикла, что очень важно в плане повышения защищенности материала от несанкционированного использования.

Таким образом, на реакторе БРЕСТ в составе опытно-демонстрационного энергетического комплекса созданы следующие барьеры на путях нарушения режима ядерного нераспространения:

- в быстром реакторе с полным воспроизводством плутония в активной зоне при КВА~1,05 количества делящегося плутония, загружаемого в реактор и выгружаемого из него, примерно равны между собой и нет необходимости выделять плутоний, чтобы изготавливать «свежее топливо»,
- в реакторе не нужны и исключены ураносодержащие экраны, нарабатывающие плутоний оружейного качества,
- присутствие в топливе трансмутируемых актинидов и неглубокая его очистка от продуктов деления повышает его самозащищенность от противоправных действий во всех звеньях топливного цикла;

- все производства топливного цикла расположены на площадке атомной станции и исключены промежуточные хранилища и перевозки с риском хищения или утери топлива,
- от технологии регенерации топлива не требуется выделять плутоний в чистом виде,
- принципиальным свойством энерготехнологии БРЕСТ является полный отказ от использования обогащенного урана, что усиливает режим нераспространения ядерного оружия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нигматулин Р.И. Четыре «э» современности: экономика, экология, энергетика, этнос. // СПб.: СПбГУП, – 2015. избранные лекции Университета.
2. Шполянская Н.А. Геокриология. Эволюция криолитозоны и глобальные изменения климата. Учебное пособие. // М.: «КДУ» (Книжный Дом Университета), «Добросвет», 2018.
3. Адамов Е.О., Орлов В.В., Рачков В.И., Слесарев И.С., Хомяков Ю.С. Ядерная энергетика с естественной безопасностью: смена устаревшей парадигмы, критерии. // Известия академии наук. Энергетика. 2015. № 1. С. 13–29.
4. Пономарев Л.И. Без ядерной энергетики у нынешней цивилизации нет будущего // Атомный эксперт. 2018. № 3–4. С. 70–75.
5. Панченко С.В., Линге И.И., Сахаров К.В., Воробьева Л.М., Мелихова Е.М., Уткин С.С., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Гераскин С.А. Радиологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. // М.: «САМ полиграфист», 2015.
6. Горин Н.В., Абрамова Н.Л., Нечаева С.В., Головихина О.С. Воспитание у населения востребованного отношения к атомной энергетике // Государственное управление. Электронный вестник. 2021. № 87, С. 7–18. <https://doi.org/10.24412/2070-1381-2021-87-7-18>.
7. Горин Н.В., Екидин А.А., Нечаева С.В., Головихина О.С. Информационные интересы общества и объектов атомной отрасли: уроки конфликтов // Государственное управление. Электронный вестник. 2020. № 83. С. 47–61. <https://doi.org/10.24411/2070-1381-2020-10108>.
8. Аврорин Е.Н., Чебесков А.Н. Быстрые реакторы и проблема ядерного нераспространения. // Изв. вузов. Ядерная энергетика, 2014, № 1, С. 64–76.
9. Гулевич А.В., Декусар В.М., Чебесков А.Н. и др. Возможность экспорта быстрых реакторов в условиях международного режима ядерного нераспространения. // Атомная энергия, 2019, т. 127, вып. 3, С. 171–175.

REFERENCES

1. Nigmatulin R.I. Chetyre «e» sovremennosti: ekonomika, ekologiya, energetika, etnos. // SPb.: SPbGUP, – 2015. izbrannyye leksii Universiteta.
2. Shpolyanskaya N.A. Geokriologiya. Evolyutsiya kriolitozony i global'nye izmeneniya klimata. Uchebnoye posobie. // Moscow: “KDU” (Knizhnyy Dom Universiteta), “Dobrosvet”, 2018.
3. Adamov E.O., Orlov V.V., Rachkov V.I., Slesarev I.S., Khomyakov Yu.S. Yadernaya energetika s estestvennoy bezopasnost'yu: smena ustarevshey paradigmy, kriterii. // Izvestiya akademii nauk. Energetika. 2015. No. 1. P. 13–29.
4. Ponomarev L.I. Bez yadernoy energetiki u nyneshney tsivilizatsii net budushchego // Atomnyy ekspert. 2018. No. 3–4. P. 70–75.
5. Panchenko S.V., Linge I.I., Sakharov K.V., Vorob'eva L.M., Melikhova E.M., Utkin S.S., Kryshev I.I., Sazykina T.G., Geras'kin S.A. Radiologicheskaya obstanovka v regionakh raspolozheniya predpriyatiy Rosatoma. // Moscow: “SAM poligrafist”, 2015.
6. Gorin N.V., Abramova N.L., Nechaeva S.V., Golovikhina O.S. Vospitanie u naseleniya vostrebovannogo otnosheniya k atomnoy energetike // Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyy vestnik. 2021. No. 87, P. 7–18. <https://doi.org/10.24412/2070-1381-2021-87-7-18>.
7. Gorin N.V., Ekinin A.A., Nechaeva S.V., Golovikhina O.S. Informatsionnye interesy obshchestva i ob"ektov atomnoy otrasli: uroki konfliktov // Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyy vestnik. 2020. No. 83. P. 47–61. <https://doi.org/10.24411/2070-1381-2020-10108>.
8. Avrorin E.N., Chebeskov A.N. Bystrye reaktory i problema yadernogo nerastrostraneniya. // Izv. vuzov. Yadernaya energetika, 2014, No. 1, P. 64–76.
9. Gulevich A.V., Dekusar V.M., Chebeskov A.N. i dr. Vozmozhnost' eksporta bystrykh reaktorov v usloviyakh mezhdunarodnogo rezhima yadernogo nerastrostraneniya. // Atomnaya energiya, 2019, T. 127, Issue 3, P. 171–175.

ТҮЙЫҚТАЛҒАН ЯОЦ-дегі РЕСЕЙЛІК ШАПШАҢ РЕАКТОРЛАРДЫ ЭКСПОРТТАУ КЕЗІНДЕГІ
ЯДРОЛЫҚ ТАРАЛУ ЖОЛДАРЫНДАҒЫ ТОСҚАУЫЛДАР (БРЕСТ-ОД-300 ҮЛГІСІНДЕ)

¹⁾ Н.В. Горин, ¹⁾ Е.В. Кузнецов, ²⁾ В.П. Кучинов, ³⁾ А.Н. Чебесков,
⁴⁾ А.В. Моисеев, ⁵⁾ В.В. Шидловский, ⁵⁾ А.В. Кривцов

¹⁾ «Ресей Федералдық ядролық орталығы – Академик Е. И. Забабахин атындағы
Бүкілресейлік техникалық физика ФЗИ» ФМУК, Снежинск, Ресей
²⁾ МИФИ УЯЗУ, Мәскеу, Ресей
³⁾ «РФ МҒО-ФЭИ» АҚ, Обнинск, Ресей
⁴⁾ Н.А. Доллежал атындағы ФЗКЭТИ АҚ, Мәскеу, Ресей
⁵⁾ «Прорыв» АҚ, Мәскеу, Ресей

Таяудағы онжылдықтар ішінде тұйықталған ядролық отын цикліндегі шапшаң реакторларды ядролық қаруы жоқ елдерге экспорттаудың басталуы мүмкін, бұл ядролық қаруды таратпау режимін күшейтуді және МАГАТЭ кепілдіктерінің тиімділігін арттыруды талап етеді. Бұған техникалық тосқауылдар жасау арқылы да, ядролық материалдарды есепке алу және бақылау жүйесін жетілдіру және оларды сенімді физикалық қорғауды қамтамасыз ету арқылы да қол жеткізуге болады. Тәжірибелік-демонстрациялық энергетикалық кешен құрамында салынып жатқан БРЕСТ-ОД-300 реакторының үлгісінде конструкциялық және технологиялық ерекшеліктерге талдау жасалды, бұл импорттаушы мемлекеттің өзі қабылдаған халықаралық міндеттемелерді бұза отырып, ядролық материалдардың мақсатын өзгертуге және ядролық қаруды немесе басқа да ядролық жарылғыш құрылғыларды жасап шығару үшін ядролық қондырғылар мен технологияларды мақсатсыз пайдалануына кедергі келтірмек немесе айтарлықтай қиындатпақ.

Түйін сөздер: шапшаң нейтрондағы реакторлар, жабық ядролық отын циклі, экспорт, таратпау режимі, ядролық материалдар, физикалық қорғау.

BARRIERS TO NUCLEAR PROLIFERATION IN THE EXPORT OF THE RUSSIAN FAST REACTORS
WITH CLOSED NFC (USING EXAMPLE BREST-OD-300)

¹⁾ N.V. Gorin, ¹⁾ E.V. Kuznetsov, ²⁾ V.P. Kuchinov, ³⁾ A.N. Chebeskov,
⁴⁾ A.V. Moiseev, ⁵⁾ V.V., Shidlovskiy, ⁵⁾ A.V. Krivtsov

¹⁾ FSUE RFNC - VNIITF named after Academ. E.I. Zababachin, Snezhinsk, Russia
²⁾ National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
³⁾ JSC “SSC RF – IPPE”, Obninsk, Russia
⁴⁾ Dollezhal Research and Development Institute of Power Engineering (NIKIET), Moscow, Russia
⁵⁾ JSC “Proryv”, Moscow, Russia

In the coming decades, it is possible to start exporting fast reactors with a closed nuclear fuel cycle to non-nuclear-weapon countries, which will require strengthening the nuclear non-proliferation regime and increasing the effectiveness of IAEA safeguards. This can be achieved both by creating technical barriers and by improving the system of accounting and control of nuclear materials and ensuring their reliable physical protection. Using the example of the BREST-OD-300 reactor under construction as part of a pilot demonstration power complex, the analysis of design and technological features that prevent or seriously hinder the switching of nuclear materials or the use of technologies by the importing State in violation of its international obligations to produce nuclear weapons or other nuclear explosive devices has been carried out.

Keywords: fast-neutron reactors, closed nuclear fuel cycle, export, non-proliferation regime, nuclear materials, physical protection.