

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-39-44>
УДК 621.039.51

ПРИМЕНЕНИЕ ГАРАНТИЙ МАГАТЭ В ГОСУДАРСТВЕ С ИМПОРТИРОВАННЫМ БЫСТРЫМ РЕАКТОРОМ И ЗАМКНУТЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЦИКЛОМ

**Н.В. Горин¹⁾, Е.В. Кузнецов¹⁾, Н.П. Волошин¹⁾, В.П. Кучинов²⁾,
А.Н. Чебесков³⁾, А.П. Васильев⁴⁾, А.В. Моисеев⁴⁾, В.В. Шидловский⁵⁾**

¹⁾ ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия

²⁾ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

³⁾ АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», Обнинск, Россия

⁴⁾ АО НИКИЭТ, Москва, Россия

⁵⁾ АО «Прорыв», Москва, Россия

E-mail для контактов: nvgorin@mail.ru

Рассмотрено применение гарантий МАГАТЭ в государстве-участнике Договора о нераспространении ядерного оружия, не обладающем ядерным оружием и импортировавшим быстрый реактор с установками замкнутого ядерного топливного цикла. Отмечены особенности быстрых реакторов, которые необходимо учитывать при их подготовке к экспорту совместно с технологиями замкнутого ЯТЦ с учетом применения гарантий МАГАТЭ в государстве-импортере. К ним отнесены высокая массовая доля плутония в свежих топливных загрузках и обращение с большим количеством делящихся материалов в технологических циклах переработки отработавшего ядерного топлива. Сделан вывод, что возможно применение эффективных гарантий МАГАТЭ в государстве, импортирующем такой реактор и установки ядерного топливного цикла, с учетом их физических и конструктивных особенностей и инновационных технологий, в том числе в области осуществления гарантий МАГАТЭ.

Ключевые слова: Реакторы на быстрых нейтронах, замкнутый ядерный топливный цикл, экспорт, режим нераспространения.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие мировой ядерной энергетики невозможно без экологически чистых энергоисточников на основе быстрых реакторов и замкнутого ЯТЦ [1, 2]. Такие реакторы будут не только обеспечены ядерным топливом на значимый промежуток времени – сотни и, возможно, тысячи лет, но и обладать внутренне присущими свойствами безопасности, исключающими тяжелые аварии с выходом радиоактивных веществ за территорию предприятия и требующие эвакуацию населения.

В научной среде в настоящее время формируется понимание, что следует заменить сжигание углеводородных энергоносителей экологически чистой атомной энергетикой. В обществе такого понимания еще нет, значительная часть населения живет иллюзиями решения экологических проблем за счет солнечной и ветровой энергетики, однако их неспособность обеспечить европейские страны энергией в 2021...2022 гг. и работы по формированию востребованного отношения к атомной энергетике это отношение изменят [3].

На международной конференции МАГАТЭ FR22 «Быстрые реакторы и связанные с ними топливные циклы: устойчивая чистая энергия будущего» обсуждались особенности конструкции перспективных реакторов, их экономика, топливные циклы, расчетные коды, конструкционные материалы и пр. Обзор проводимых работ в разных странах представлен в [4].

Генеральным директором МАГАТЭ Р. Гросси по итогам конференции отмечено, что развитие быстрых реакторов – путь к устойчивости ядерной энергетики. Эти технологии развивают Россия, Китай, Индия, Франция, США, Япония, Южная Корея.

Будущее развитие российской энергетики также связано с реакторами на быстрых нейтронах (РБН) и планируется, что они станут основой энергетической и экологической безопасности России. При переходе на их использование неизбежен период совместной эксплуатации быстрых и тепловых реакторов, которые в настоящее время составляют базу атомной энергетики России и экспортного портфеля Госкорпорации «Росатом». В принятой Госкорпорацией «Росатом» «Стратегии-2018»¹⁾, предусматривается, что в течение нескольких десятилетий быстрые реакторы заменят тепловые ВВЭР и станут новым экспортным продуктом России. Вместе с тем, их экспорт, особенно совместно с установками замыкания ЯТЦ, может вызвать озабоченность политиков и мировой общественности в связи с риском распространения ядерного оружия [1, 2]. Озабоченности снимаются эффективным применением гарантий МАГАТЭ в государстве-импортере быстрого реактора, как это осуществляется в настоящее время в случае импорта тепловых реакторов неядерными государствами-участниками Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО). Дополнительно следует отметить, что МАГАТЭ накопило достаточно большой опыт

¹⁾ 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 23.05.2022).

применения гарантий к быстрому реактору и установкам замкнутого ЯТЦ, например, в Японии.

Дополнительными мерами снижения озабоченности и повышения эффективности гарантий МАГАТЭ могут стать технологические барьеры, предусмотренные в конструкциях РБН и установках по переработке отработавшего ядерного топлива и производству нового смешанного уран-плутониевого топлива, технически поддерживающих режим ядерного нераспространения и гарантий МАГАТЭ [5]. Немаловажным обстоятельством при использовании РБН, снимающим одну из наибольших озабоченностей в проблемах ядерного нераспространения, мог бы стать в будущем отказ от обогащения урана и использование накопленного в России за прошедшие полвека обедненного гексафторида урана, содержание энергии в котором на два порядка превышает годовые энергетические потребности мира [6]. Именно в этой химической форме в настоящее время хранится основная часть накопленного урана.

Кроме того, в настоящее время развиваются работы по обнаружению признаков нарушений обязательств по ядерному нераспространению государством-импортёром РБН с установками замкнутого ЯТЦ [7].

Важной особенностью быстрых реакторов и технологий замкнутого ЯТЦ с точки зрения ядерного нераспространения является большее количество плутония на всех этапах ЯТЦ и возможность наработки плутония оружейного качества в зоне воспроизводства быстрого реактора, при ее наличии. Эта особенность требует анализа возможностей МАГАТЭ в ходе применения им гарантий в связи с ДНЯО своевременно обнаруживать переключения ядерных материалов и установок на производство ядерного оружия или ядерных взрывных устройств.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ ГАРАНТИЙ МАГАТЭ

В настоящее время МАГАТЭ применяет подход к осуществлению гарантий на уровне государства [8, 9], рассматривая его ядерную деятельность в целом, а не на отдельной установке с ядерным материалом, подлежащей постановке под гарантии. Такой подход предполагает анализ возможных путей получения государством ядерных материалов, пригодных для создания ядерного взрывного устройства с использованием как заявленных, так и не заявленных установок. С учетом этого установлены следующие общие цели проверок осуществления гарантий МАГАТЭ:

- обнаружение незаявленных ядерных материалов и видов деятельности в государстве;
- обнаружение незаявленного производства или переработки ядерного материала на заявленных объектах;
- обнаружение переключения заявленного ядерного материала. Переключение понимается здесь как незаявленное удаление заявленного ядерного материала с заявленных установок;

- устранение аномалий, вопросов и несоответствий.

Исходя из этих целей и на основании проводимого Агентством анализа путей получения ядерного материала, пригодного для создания ядерного оружия или ядерного взрывного устройства, определяются технические цели осуществления гарантий и планирование проверочной деятельности. Анализируя пути приобретения, МАГАТЭ проводит в каждом государстве анализ заявленной и незаявленной ядерной деятельности, которую оно могло бы предпринять для переключения или получения ядерного материала, пригодного для использования в оружии, принимая во внимание технические возможности, опыт и компетенцию специалистов неядерного государства.

Поскольку экспорт РБН с установками замыкания ЯТЦ будет осуществляться только в те неядерные государства, которые имеют соглашение о гарантиях с МАГАТЭ в связи с ДНЯО с действующим дополнительным протоколом, и достаточную историю их применения, то вопросы достижения первой цели обнаружения незаявленного ядерного материала и ядерной деятельности в данной статье обсуждаться не будут. В этой связи предполагается, что вывод об отсутствии незаявленных ядерных материалов и установок в государстве-импортёре уже сделан и обсуждение будет сосредоточено на оставшихся трёх целях. В этой связи конструкции и эксплуатация быстрого реактора и установок замыкания ЯТЦ рассматриваются с точки зрения проверочных мероприятий МАГАТЭ, гарантирующих их использование по заявленному назначению и отсутствию переключения ядерных материалов, находящихся под гарантиями МАГАТЭ, на цели производства ядерного оружия или ядерного взрывного устройства.

Опыт гарантий МАГАТЭ на быстром реакторе «Мондзё» (Япония) показал, что основные элементы проверочных мероприятий МАГАТЭ совпадают с проводимыми на тепловых реакторах [10]. Так, проверка ядерного материала основана на его учете по дискретным единицам – тепловыделяющим сборкам (ТВС), содержащим ядерный материал и имеющим уникальный идентификатор в виде заводского номера. Содержание ядерного материала, его химический и изотопный состав в свежих сборках определяются на основе данных завода-изготовителя, а после завершения кампании в реакторе – на основе расчетов выгорания делящихся изотопов и накопления новых.

Одновременно опыт показал, что еще одной особенностью быстрого реактора, наряду с повышенным содержанием плутония в топливе, существенной с точки зрения применения гарантий МАГАТЭ, является непрозрачность теплоносителя (натрий, свинец). Данная сложность преодолевается путём применения мер сохранения и наблюдения. При этом воспроизводящие сборки бланкета учитываются аналогично основным ТВС.

Временные параметры инспекционных мероприятий, проводившихся МАГАТЭ на быстром реакторе «Мондзё», определялись исходя из времени, необходимого для того, чтобы преобразовать материал, переключённый с этой установки, в материал, пригодный для использования в оружии. Для выделенного плутония этот параметр составлял 1 месяц, а для ОЯТ – 3 месяца [8].

ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ГАРАНТИЙ МАГАТЭ

Если экспорт РБН с установками замыкания ЯТЦ осуществляется в неядерное государство, то как указывалось выше, можно полагать, что МАГАТЭ к данному моменту пришло к заключению об отсутствии у этого государства незаявленной ядерной деятельности. В этом случае усилия Агентства в рамках осуществления гарантий в государстве-импортере могли бы быть сосредоточены на обнаружении переключения ядерных материалов в свежих или облученных ТВС на импортированном РБН с установками замыкания ЯТЦ. Это во многом будет соответствовать использовавшейся Агентством практике проверок на уровне установки в рамках осуществления гарантий МАГАТЭ на экспортируемых Россией АЭС с ВВЭР. Однако непрозрачность жидкометаллического теплоносителя и невозможность визуального контроля ТВС в быстром реакторе во время перегрузки существенно затруднит осуществление таких проверочных мероприятий МАГАТЭ. ТВС быстрых реакторов не доступны для их физического счета и идентификации после помещения в барабан загрузки активной зоны и до их появления в пристанционном бассейне отработавшего топлива. Вместе с тем доступ к ТВС, находящихся в полностью герметизированном реакторном пространстве, физически невозможен, что может в определенной мере компенсировать отсутствие возможности их идентификации и пересчета.

Пути переключения ТВС связаны, как правило, с подменой их муляжами, а также и с незаявленными остановами реактора для совершения такой подмены. Дополнительно следует рассматривать возможность установки заявленной сборки с обедненным или природным ураном в активную зону для наработки плутония или ТВС, в которой несколько твэлов заменяются на стержни с воспроизводящим материалом. Соответствующие проверочные меры для обнаружения таких действий могут быть следующими:

- проверка учетных документов и сопоставление с отчетами, предоставляемыми в МАГАТЭ, с контролем внутренней согласованности;

- сопоставление учетной и эксплуатационной документации. Например, запись мощности, которая показывает, что реактор работал непрерывно между инспекциями, подтверждает учетные документы, указывающие на отсутствие изменений в инвентарном количестве ядерных материалов в активной зоне. Изменение количества ядерных материалов и их состава определяется расчетным методом после оста-

нова реактора на перегрузку для выгружаемой партии ядерного топлива;

- указание ТВС как учетных единиц и сверка их серийных номеров с паспортными данными, а также выборочная проверка неразрушаемыми методами измерений на содержание в них заявленного ядерного материала;

- проверка отработавшего ядерного топлива в бассейне выдержки с использованием оптических средств наблюдения для учета ТВС и идентификации их номеров.

При этом важно учитывать следующие особенности быстрого реактора:

- концентрация делящихся изотопов как в свежем, так и облученном ядерном топливе в несколько раз выше, чем в топливе тепловых реакторов;

- наличие плутония в топливе в качестве основного делящегося материала переводит такое ядерное топливо в материал прямого использования для изготовления ядерного взрывного устройства;

- наличие боковой и/или внутренней зоны воспроизводства в активной зоне, например, в виде воспроизводящей аксиальной прослойки, где может нарабатываться плутоний;

- наличие дополнительных устройств очистки выгружаемых сборок от жидкометаллического теплоносителя;

- возможность конструктивно варьировать коэффициент воспроизводства в зависимости от потребностей в плутонии.

Вместе с тем, при условии возврата отработавшего топлива быстрых реакторов в Россию на переработку часть из перечисленных особенностей может оказаться не существенной с точки зрения применения гарантий МАГАТЭ.

При рассмотрении подходов по осуществлению гарантий МАГАТЭ в государстве-импортере быстрого реактора с замкнутым ЯТЦ следует учитывать установки по переработке отработавшего топлива, изготовлению смешанного уран-плутониевого и обращению с радиоактивными отходами разного уровня активности.

Размещение установок замкнутого ЯТЦ будет существенно влиять на подходы МАГАТЭ к осуществлению гарантий, поскольку возможные пути переключения ядерного материала, пригодного для оружия, будут различны. Например, в случае пристанционного ЯТЦ будет отсутствовать дальняя транспортировка отработавшего и свежего уран-плутониевого топлива, что сокращает возможности для переключения. Также единое функционирование быстрого реактора и пристанционного ЯТЦ в качестве энергетического комплекса создаст дополнительные трудности переключения ядерного материала в связи с нарушением баланса потока ядерного материала и необходимостью пересечения границ энергокомплекса. Тем не менее, возможными путями переключения

ядерного материала, находящегося под гарантиями МАГАТЭ, в установках замкнутого ЯТЦ могут быть:

- разовое переключение – максимально возможное однократное изъятие значимого или близкого к нему количества ядерного материала в технологических цепочках, сопровождаемое фальсификацией учетных документов в целях сокрытия;
- распределенное переключение – последовательное изъятие небольшого количества ядерного материала в технологических цепочках, рассредоточенного во времени, как правило, в течение одного периода баланса ядерного материала с сопутствующей фальсификацией учетных документов.

Соответствующие проверочные меры для обнаружения таких действий могут состоять из следующих мероприятий:

- проверка материально-балансовых учетных документов и их сравнение с отчетами, направленными в МАГАТЭ;
- проверка фактического наличия заявленного количества ядерного материала в ходе физической инвентаризации, проводимой оператором установки;
- определение потока ядерного материала на входе установок и через нее, а также на выходе из установки.

Средства сохранения и наблюдения являются существенным дополнительным инструментом, позволяющим не утратить знания о ранее измеренном количестве ядерного материала и для обеспечения целостности образцов, взятых для анализа в лаборатории МАГАТЭ. При реализации этих действий следует иметь в виду, что установки с содержанием плутония требуют применения дополнительных проверочных мер с учетом малого времени обнаружения переключения плутония, поскольку он является материалом прямого использования. Вместе с тем, при наличии у МАГАТЭ достаточной уверенности в отсутствии в государстве-импортере незадекларированной ядерной деятельности указанные выше временные параметры инспекционной деятельности могут быть пересмотрены в сторону их увеличения.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ГАРАНТИЙ МАГАТЭ

Исходя из описанного, быстрые реакторы и установки замкнутого ЯТЦ должны проектироваться с учетом предстоящего применения гарантий МАГАТЭ. За основу этого целесообразно принять опыт экспортируемых тепловых реакторов. Проекты установок, как и для тепловых реакторов, должны предусматривать возможность создания зон баланса ядерных материалов таким образом, чтобы они имели физические границы и барьеры, обеспечивающие сохранение, поступление и отгрузку только через соответствующие ключевые точки измерения. Также необходимо предусматривать возможность выбора ключевых точек в зоне баланса материалов, которые обеспечивают определение фактического количества

ядерных материалов с точностью измерений, соответствующей международным стандартам [11]. Для размещения и использования средств сохранения и наблюдения в виде устройств индикации вмешательства, дистанционного мониторинга и наблюдения с постоянным и резервируемым энергообеспечением должны быть предусмотрены специальные места.

Принимая во внимание, что МАГАТЭ проверяет информацию о конструкции установки в ходе ее строительства и на последующих этапах жизненного цикла целесообразно предусмотреть возможности такой проверки. Особое внимание следует направить на конструктивные особенности, которые будут недоступны при эксплуатации энергокомплекса. Рекомендации по учету гарантий МАГАТЭ в проектах и конструкции ядерных установок приведены в [12].

В настоящее время имеются технические решения, которые могут содействовать применению гарантий МАГАТЭ. Так, в России на предприятиях-изготовителях ядерного топлива внедрены компьютеризированные системы, позволяющие накапливать информацию о конструкторской документации каждой ТВС, ее учетном номере, скрытых, индивидуальных и уникальных индикаторах, нанесенных на поверхность, изотопном составе, примесях, легирующих добавках и др. При обеспечении быстрого реактора ядерным топливом из России и обратным возвратом отработавшего, перед экспортной отправкой ТВС можно достаточно точно прогнозировать регламент их эксплуатации и накопления в них плутония. Всегда известны срок поступления на склад хранения свежего топлива заказчика, ожидаемая дата поставки в активную зону, даты перегрузок и завершения кампании, продолжительность хранения и дата отправки отработавшего топлива в Россию. Компьютерная система учета полученного отработавшего топлива проверяет соответствие учетных номеров, измеряет и сличает с хранящимися в памяти индивидуальными индикаторами, делает вывод о соблюдении регламента и отсутствии несанкционированных действий с ТВС. Такими же системами могут быть снабжены поставляемые на экспорт и установки замкнутого ЯТЦ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, возможный в будущем экспорт из России в неядерные государства-участники ДНЯО реакторов на быстрых нейтронах с установками замыкания ЯТЦ не должен вызывать озабоченность с точки зрения ядерного нераспространения. Этому будет способствовать применение эффективных гарантий МАГАТЭ в государстве, импортирующем быстрые реакторы и установки ядерного топливного цикла, с учетом их физических и конструктивных особенностей и инновационных технологий замкнутого ядерного топливного цикла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горин Н.В., Волошин Н.П., Чуриков Ю.И., Чебесков А.Н., Кучинов В.П., Васильев А.П., Моисеев А.В., Шепелев С.Ф., Скворцов Д.А., Журин С.И., Шидловский В.В., Кривцов А.В. Обеспечение режима ядерного нераспространения при экспорте реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым топливным циклом // Атомная энергия. 2021, Т.130, вып. 1, С. 48–51. <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00773-0>
2. Гулевич А.В., Декусар В.М., Чебесков А.Н., Кучинов В.П., Волошин Н.П. Возможность экспорта быстрых реакторов в условиях международного режима ядерного нераспространения. – Атомная энергия, 2019, Т. 127, вып. 3, С. 171–175.
3. 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>
4. Фетисова Н. Ревизия быстрых. // Атомный эксперт. 2022. № 4–5. С. 36–43.
5. Горин Н.В., Кузнецов Е.В., Кучинов В.П., Чебесков А.Н., Моисеев А.В., Шидловский В.В., Кривцов А.В. Барьеры на путях ядерного распространения при экспорте российских быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ (на примере БРЕСТ ОД-300) // Вестник НЯЦ РК, 2021, вып. 4(88), С. 16–21.
6. Горин Н.В., Екидин А.А., Головихина О.С. Атомная энергетика в национальных проектах России // Известия ВУЗов. Ядерная энергетика. 2021, № 1, С. 5–15. <https://doi.org/10.26583/npe.2021.1.01>
7. Горин Н.В., Карманов А.Л., Первиненко В.Н., Власов В.В., Теплых Н.А., Кучинов В.П., Чебесков А.Н., Шидловский В.В. Обнаружение признаков нарушений обязательств по ядерному нераспространению государством-импортёром быстрого реактора с установками замкнутого ЯТЦ // Атомная энергия, 2021, Т. 131, вып. 4, С. 227–232.
8. Carlson J., Kuchinov V., Shea T. The IAEA's Safeguards System as the non-proliferation treaty's verification mechanism, – Nucl. Threat Initiative, 2020.
9. Report «The IAEA's Safeguards System as the Non-Proliferation Treaty's Verification Mechanism», NTI, 2020.
10. IAEA Safeguards: Implementation at Nuclear Fuel Cycle Facilities, IAEA/SG/INF/6, Vienna, IAEA, 1985.
11. Nuclear Material Accounting Handbook. Vienna: IAEA, 2008.
12. International Safeguards in Nuclear Facility Design and Construction. IAEA Nuclear Energy Ser. No. NP-T-2.8, Vienna. IAEA: 2013.

REFERENCES

1. Gorin, N.V., Voloshin, N.P., Churikov, Y.I. Chebeskov, A.N., Kuchinov, V.P., Vasiliev, A.P., Moiseev, A.V., Shepelev, S.F., Skvortsov, D.A., Zhurin, S.I., Shidlovskiy, V.V., Krivtsov, A.V. Nuclear Non-Proliferation Security on Exportation of Fast Reactors with a Closed Fuel Cycle. At Energy 130, 53–56 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00773-0>
2. Gulevich F.V., Decusar V.M., Chebeskov A.N., Kuchinov V.P., Voloshin N.P. The Possibility of Export of Fast Reactors in the Conditions on the Nuclear Non-Proliferation Regime. // Atomnaya energiya. 2019. V. 127. No. 3. P. 171–175. (in Russian).
3. Gorin N.V., Abramova N.L., Nechaeva S.V., Golovikhina O.S. Fostering Respectful Attitude towards Nuclear Industry // Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyy vestnik. 2021. No. 87. P. 6–24. <https://doi.org/10.24412/2070-1381-2021-87-7-18>
4. Fetisova N. Reviziya bystrykh. // Atomnyj ekspert. 2022. No. 4–5. P. 36–43.
5. Gorin N.V., Kuznetsov E.V., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Moiseev A.V., Shidlovskiy V.V., Krivtsov A.V. Barriers on Ways of Nuclear Distribution at Export of the Russian Fast Reactors with Closed Nuclear Fuel Cycle (on an example Brest OД-300). Vestnik NYaTs RK. 2021. Issue 4(88), P. 16–21. doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21. (in Russian).
6. Gorin NV, Yekidin AA, Golovikhina OS (2021) Nuclear power in Russia's national projects. Nuclear Energy and Technology 7(3): 181–186. <https://doi.org/10.3897/nucet.7.72393>
7. Gorin N.V., Karmanov A.L., Pervinenko V.N., Vlasov V.V., Teplykh N.A., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Shidlovsky V. V. Detection the Violations of Nuclear Non-proliferation Obligations by the State Importing Fast Reactor with Closed Nuclear Fuel Cycle. Atomnaya energiya. 2021, v. 131, No. 4, P. 227–232. (in Russian).
8. Carlson J., Kuchinov V., Shea T. The IAEA's Safeguards System as the non-proliferation treaty's verification mechanism, – Nucl. Threat Initiative, 2020.
9. Report “The IAEA's Safeguards System as the Non-Proliferation Treaty's Verification Mechanism”, NTI, 2020.
10. IAEA Safeguards: Implementation at Nuclear Fuel Cycle Facilities, IAEA/SG/INF/6, Vienna, IAEA, 1985.
11. Nuclear Material Accounting Handbook. Vienna: IAEA, 2008.
12. International Safeguards in Nuclear Facility Design and Construction. IAEA Nuclear Energy Ser. No. NP-T-2.8, Vienna. IAEA: 2013.

ИМПОРТТАЛҒАН ШАПШАҢ РЕАКТОРЫ ЖӘНЕ ТҰЙЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОТЫН ЦИКЛІ БАР МЕМЛЕКЕТТЕ МАГАТЭ КЕПІЛДІКТЕРІН ҚОЛДАНУ

Н.В. Горин¹⁾, Е.В. Кузнецов¹⁾, Н.П. Волошин¹⁾, В.П. Кучинов²⁾,
А.Н. Чебесков³⁾, А.П. Васильев⁴⁾, А.В. Моисеев⁴⁾, В.В. Шидловский⁵⁾

¹⁾ «РФЯО – Академик Е. И. Забабахин атындағы БТФФЗИ» ФМУК, Снежинск, Ресей

²⁾ МИФИ Ұлттық зерттеу ядролық университеті, Мәскеу, Ресей

³⁾ «РФ МҒО – ФЭИ» АҚ, Обнинск, Ресей

⁴⁾ ФЗКЭТИ АҚ, Мәскеу, Ресей

⁵⁾ «Прорыв» АҚ, Мәскеу, Ресей

Ядролық қаруы жоқ және тұйық ядролық отын циклі қондырғылары бар шапшаң реакторды импортқа алған Ядролық қаруды таратпау туралы шартқа қатысушы мемлекетте МАГАТЭ кепілдіктерін қолдану қаралды. Импорттаушы мемлекетте МАГАТЭ кепілдіктерін қолдануды ескере отырып, шапшаң реакторларды тұйық ЯОЦ технологияларымен бірге экспортқа дайындау кезінде ескерілуі қажет болатын реакторлардың ерекшеліктері атап көрсетілді. Оларға жаңа отын жүктемелеріндегі плутонийдің жоғары массалық үлесі және пайдаланылған ядролық отынды қайта өңдеудің технологиялық циклдерінде бөлінетін материалдардың көп мөлшерімен жұмыс істеу жатады. Физикалық және конструктивтік ерекшеліктері мен инновациялық технологияларын, оның ішінде МАГАТЭ кепілдіктерін жүзеге асыру саласындағыны ескере отырып, осындай реактор мен ядролық отын циклі қондырғысын импорттайтын мемлекетте МАГАТЭ-нің тиімді кепілдіктерін қолдануға болады деген қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: шапшаң нейтрондағы реакторлар, тұйық ядролық отын циклі, экспорт, таратпау режимі.

IMPLEMENTATION OF IAEA SAFEGUARDS IN A STATE WITH AN IMPORTED FAST REACTOR AND A CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE

N.V. Gorin¹⁾, E.V. Kuznetsov¹⁾, N.P. Voloshin¹⁾, V.P. Kuchinov²⁾,
A.N. Chebeskov³⁾, A.P. Vasilyev⁴⁾, A.V. Moiseev⁴⁾, V.V. Shidlovsky⁵⁾

¹⁾ FSUE “RFNC–VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin”, Snezhinsk, Russia

²⁾ National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

³⁾ JSC “SSC RF – IPPE”, Obninsk, Russia

⁴⁾ JSC NIKIET, Moscow, Russia

⁵⁾ JSC “Proryv”, Moscow, Russia

The implementation of the IAEA safeguards in the non-nuclear weapon state party to the NPT (Non-Proliferation Treaty) that has imported the fast-neutron reactor with nuclear fuel cycle facilities is considered. The features of fast reactors that should be taken into account when preparing them for export together with CNFC technologies considering the implementation of IAEA safeguards in the importing state, are noted. These include high mass fraction of plutonium in fresh fuel loads and handling of a large amounts of fissile materials in the technological cycles of reprocessing spent nuclear fuel. It is concluded that it is possible to implement the effective IAEA safeguards in the state importing such reactor and nuclear fuel cycle facilities considering their physical and design features and innovative technologies, including those used in the IAEA safeguards implementation.

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