

Гарантии на исследовательских реакторах: сложившаяся практика и тенденции на будущее

Внедрение некоторых новых мер по проверке для повышения эффективности и действенности гарантий Агентства

**Джанкарло
Цуккарро-
Лабелларте
и
Роберт
Фагерхольм**

В настоящее время под гарантии МАГАТЭ подпадает приблизительно 180 исследовательских реакторов и критических сборок. Подавляющее большинство таких реакторов действуют на сравнительно низких уровнях мощности (10 МВт тепловой энергии или ниже), а критические сборки — практически на нулевом уровне мощности*. С точки зрения гарантий это важно, поскольку уровень мощности реактора является определяющим фактором его способности производить плутоний. Наряду с высокообогащенным ураном (ВОУ) и ураном-233 плутоний считается материалом “прямого использования”, который может быть переклочен на производство ядерного оружия.

В настоящей статье рассматривается применение гарантий МАГАТЭ на исследовательских реакторах, включая аспекты, связанные со случаями переключения и скрытого производства, а также с основными видами деятельности по проверке. Дополнительно рассматриваются новые меры по гарантиям, внедряемые для обеспечения отсутствия незадекларированных ядерных материалов и незадекларированной деятельности.

Исследовательские реакторы: осуществление гарантий

В мире эксплуатируется несколько типов исследовательских реакторов. Весьма распространенным из них является реактор бассейнового типа, мощность которого обычно находится на уровне порядка 10 МВт тепловой энергии или ниже. Топливные элементы, как правило, состоят из ВОУ (обогащенного до уровня 20% или более по изотопу урана-235) или МОУ (содержащего менее 20% урана-235), находящегося в пластинах, стержнях или трубах из алюминиевого сплава. Активная зона реактора погружена в большой бассейн с водой, которая обеспечивает охлаждение и замедление

нейтронов. Топливные сборки в активной зоне реактора бассейнового типа обычно видны и доступны для измерения в целях выполнения работы, связанной с гарантиями.

Другие типы исследовательских реакторов действуют на высоких уровнях мощности (превышающих 10 МВт тепловой энергии). Им требуются более мощные системы теплоотвода, и поэтому они обычно помещаются в корпусах активной зоны и оборудованы насосами охлаждения и теплообменниками. Топливные элементы в активной зоне реактора на этих установках обычно не видны и не доступны для измерения с целью осуществления гарантий.

Исследовательские реакторы широко используются для научной работы и других целей. Нейтроны, вырабатываемые исследовательскими реакторами, являются мощным средством для исследования вещества на ядерном, атомном и молекулярном уровнях. Нейтроны часто используются как зонды физиками, занимающимися изучением ядерной энергии и проблемами твердого тела, химиками и биологами. Эксперименты с нейтронами могут также проводиться за пределами биологической защиты с помощью установленных каналов для прохождения пучка. Кроме того, образцы могут помещаться в активной зоне исследовательского реактора или около нее для облучения нейтронами, т. е. для производства радиоактивных изотопов, используемых в медицинских и научных целях.

Возможности переключения ядерных материалов. В соответствии с существующими всеобъемлющими соглашениями о гарантиях МАГАТЭ имеет право и обязано проверять, чтобы никакие

Г-н Цуккарро-Лабелларте возглавляет Секцию процедур Отдела операций (С), а г-н Фагерхольм работает аналитиком по гарантиям в Отделе концепций и планирования Департамента гарантий МАГАТЭ.

* Критическая сборка является исследовательской установкой, представляющей собой конфигурацию ядерного материала, в которой при соответствующем управлении может поддерживаться цепная реакция. В отличие от исследовательского или энергетического реактора, для нее обычно не предусматривается специальное охлаждение, у нее нет защиты для работы на большой мощности, ее активная зона рассчитана на большую гибкость системы и в ней используется топливо в легкодоступной форме, расположение которого в активной зоне часто меняется, как и само топливо, для изучения различных реакторных концепций.

ядерные материалы не переключались с мирного использования на производство ядерного оружия или иных ядерных взрывных устройств. Государства заключают такие соглашения во исполнение своих обязательств по Договору о нераспространении ядерного оружия.

Применительно к исследовательским реакторам рассматриваются следующие возможности, или сценарии, переключения ядерных материалов:

Переключение свежего или слегка облученного топлива для скрытого химического выделения делящихся материалов. Этому сценарию, для которого вполне достаточно иметь общедоступное химико-технологическое оборудование, уделяется особое внимание с точки зрения гарантий на установках, где свежее топливо содержит ВОУ или плутоний, не нуждающийся в дальнейшем превращении или обогащении для использования в ядерном взрывном устройстве. В настоящее время около 20 исследовательских реакторов, подпадающих под действие гарантий МАГАТЭ, применяют такой делящийся материал прямого использования в объеме более одного значимого количества (ЗК). Для целей гарантий одно ЗК в настоящее время определяется как 8 кг плутония или урана-233 или 25 кг урана-235 в ВОУ.

На международном уровне, и в частности в рамках программы США по использованию низкообогащенного ядерного топлива на исследовательских и материаловедческих реакторах, прилагаются усилия по разработке технологии использования на таких реакторах МОУ вместо ВОУ без существенного ухудшения их функционирования в том, что касается экспериментов, затрат и сохранения безопасности.

Переключение отработавшего или сильно облученного топлива для скрытого химического выделения делящихся материалов на перерабатывающей установке. Эта схема является технически более сложной с точки зрения затраченных усилий и времени по сравнению с предыдущей из-за высокого уровня радиоактивности используемого топлива. Тем не менее ей уделяется особое внимание примерно на 15 исследовательских реакторах, подпадающих под гарантии МАГАТЭ, из-за накопления большого количества отработавшего топлива и придается важное значение более чем на 10 других реакторах.

Возможность скрытого производства. Существует возможность скрытого производства плутония или урана-233 путем облучения незаявленного сырьевого материала. По мере разработки методов использования нейтронов возникала необходимость в более высоких уровнях нейтронного потока для проведения более сложных и длительных экспериментов в более короткие сроки. Были сооружены крупные исследовательские реакторы для обеспечения нейтронного потока таких уровней. На этих реакторах технически возможно производство значимых количеств плутония или урана-233 путем облучения незаявленного сырьевого материала. Это может быть достиг-

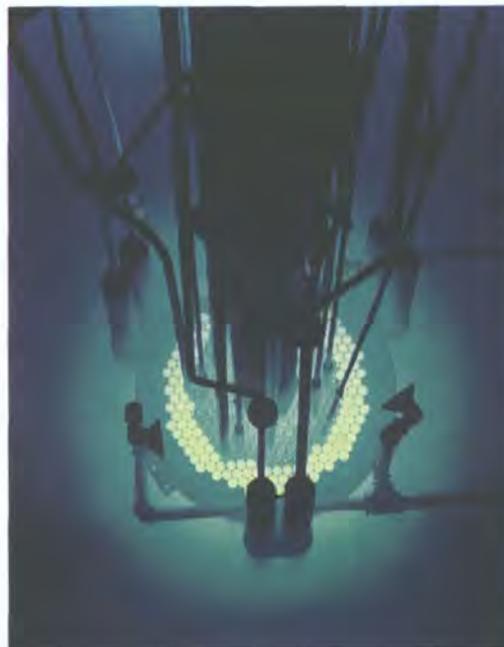
нуто, например, путем помещения материала — объекта облучения в активную зону или около нее либо путем замены элементов отражателя сырьевым веществом, подлежащим облучению. В то же время исследования показали, что за один год на исследовательском реакторе, эксплуатируемом на уровне ниже 25 МВт тепловой энергии, невозможно произвести одно значимое количество плутония. Фактическая производительность зависит от конструкции и эксплуатационных параметров того или иного реактора.

Действующая система гарантий МАГАТЭ требует оценивать все исследовательские реакторы, эксплуатируемые на уровнях мощности выше 25 МВт тепловой энергии, с точки зрения их способности производить, по крайней мере, одно значимое количество плутония (или урана-233) в год.

В настоящее время имеется около 30 тепловых исследовательских реакторов с уровнем мощности в 10 МВт тепловой энергии или выше, которые подпадают под действие гарантий МАГАТЭ. Около 10 из них эксплуатируются на уровнях мощности свыше 25 МВт тепловой энергии, и на них распространяются дополнительные меры по гарантиям в плане возможности скрытого производства.

Элементы “классических” гарантий МАГАТЭ

В настоящее время основная инспекционная деятельность МАГАТЭ на исследовательских реакторах включает ежегодную проверку инвентарного количества материала в наличии; инспекции, преследующие цели своевременного обнаружения свежего (необлученного) топлива, топлива в активной зоне и отработавшего топлива; ревизию



Исследовательский реактор в Японии используется для изучения происходящих в топливе процессов; работа проводится в рамках исследований ядерной безопасности.
(Фото: JAERI)



Исследовательский реактор в Батаане, Индонезия.
(Фото: Мейер/АЕА)

учетных документов и отчетов; проверку конкретных видов передачи топлива; и инспекции для подтверждения отсутствия скрытого облучения сырьевого материала.

При определении инвентарного количества материала в наличии проверяется свежее и отработавшее топливо путем использования методов неразрушающего анализа (НРА) для подтверждения существования всего заявленного объема. Проверка топлива в активной зоне также осуществляется с помощью НРА или путем контроля критичности, подтверждаемого другими данными о реакторе*. Промежуточные инспекции на исследовательских реакторах проводятся с интервалами, исходя из требований своевременности гарантий в отношении конкретных инвентарных количеств разных видов материала**. Если на установке имеется свыше одного ЗК, то проверки топлива в активной зоне и отработавшего топлива проводятся четыре раза за календарный год с интервалом в один квартал, а проверка свежего топлива, содержащего ВОУ и плутоний, — 12 раз, т. е. ежемесячно. Проверка свежего топлива, содержащего менее одного ЗК ВОУ или плутония, проводится один раз в год и ежеквартально, если на установке имеется свыше одного ЗК ВОУ или плутония (свежее или облученное).

Передача топлива и экспериментального материала, содержащего ВОУ, плутоний или уран-233, проверяется либо на установке-отправителе, либо на установке-получателе, если отгружаемая партия опечатывается Агентством, а если партия не опечатывается, то на обеих установках.

Чтобы удостовериться в отсутствии неучтенного производства одного ЗК плутония или урана-233 на исследовательских реакторах высокой мощности (свыше 25 МВт тепловой энергии), используются следующие процедуры:

* Контроль критичности является инспекционной деятельностью, обеспечивающей подтверждение того, что реактор достиг критичности и что в нем поддерживается контролируемая ядерная реакция, т. е. в активной зоне находится по меньшей мере минимальное критическое количество ядерного материала.

** Своевременность гарантий связана со временем, необходимым для превращения ядерного материала из его имеющегося состояния в ВОУ или металлический плутоний.

- анализ конструкции и эксплуатации установки;
- меры сохранения и наблюдения (С/Н), а также прочие меры (например, контролирование уровня мощности), которые подтверждают, что реактор остановлен или не эксплуатировался в течение достаточного срока;
- осуществление одного из следующих видов деятельности: 1) применение мер С/Н для подтверждения отсутствия неучтенной загрузки свежего сырьевого материала и его удаления после облучения; или 2) оценка потребления свежего топлива и данных оператора о выгорании отработавшего топлива для подтверждения их соответствия представленной информации о конструкции и эксплуатации реактора.

Связанная с гарантиями информация о конструкции исследовательского реактора представляется Агентству государством. Она проверяется и подтверждается в установленном порядке и перепроверяется не реже одного раза в год. В случае внесения модификаций или изменений в относящуюся к гарантиям информацию о конструкции, производится их удостоверение с целью создания основы для корректировки процедур применения гарантий, после чего предпринимается необходимая корректировка.

Элементы укрепления гарантий на исследовательских реакторах

В июне 1995 г. Совет управляющих МАГАТЭ одобрил общее направление укрепления системы гарантий с наименьшими затратами в рамках части 1 программы, именуемой "Программа 93+2". В часть 1 включены меры, которые могут быть осуществлены на основе имеющихся у Агентства правовых полномочий, предоставленных ему в соответствии со всеобъемлющими соглашениями о гарантиях.

Некоторые меры, предназначенные для повышения эффективности и действенности гарантий, имеют общий характер. Они включают своевременное представление информации о конструкции, а также предусматривают описание ядерного топливного цикла того или иного государства.

Другие меры более конкретны в отношении определенных установок. Они включают описание и состояние НИОКР, особенно в таких областях, как обогащение и переработка урана, отбор проб объектов окружающей среды в стратегических пунктах, выбранных для обычных инспекций, необъявленные обычные инспекции для подтверждения заявленной и отсутствия незаявленной ядерной деятельности, мониторинг без посещения и дистанционная передача информации по гарантиям.

Непрерывная разработка новых технологий также предоставляет возможность внедрения новых систем измерения и наблюдения в целях гарантий, которые позволяют осуществлять дистан-

ционное управление оборудованием и дистанционную передачу информации по гарантиям. Последствия принятия таких новых мер для операторов и государств во многом будут зависеть от типа ядерных установок и конкретных государств или районов, в которых эти установки находятся.

Важнейшим аспектом при внедрении предлагаемых мер является расширение сотрудничества с государствами и государственными системами учета и контроля ядерных материалов (ГСУК), что необходимо для более эффективного планирования и проведения инспекций Агентством. В целях экономии средств и оптимального использования существующей системы ГСУК и МАГАТЭ могут также совместно проводить инспекции и совместно выполнять отдельные виды вспомогательной деятельности. Координированное и действенное применение новых мер позволит облегчить работу по осуществлению гарантий в отношении заявленных ядерных материалов и в то же время повысить способность обнаружения возможных незаявленных видов ядерной деятельности и материалов.

Как уже отмечалось выше, частота проведения инспекций на исследовательских реакторах колеблется от одного до 12 раз в год в зависимости от вида и количества ядерного материала, имеющегося на установке. В настоящее время инспекционная деятельность планируется таким образом, чтобы заявленный ядерный материал по-прежнему подпадал под действие гарантий. В рамках существующей системы труднее обеспечить положение, при котором реактор не использовался бы для производства незаявленного плутония или урана-233 в результате незаявленной эксплуатации, в особенности если произведенное количество незаявленного делящегося материала составляет значительно меньше одного ЗК (т. е. 2 кг плутония в год или менее).

На установках, инспектируемых в настоящее время не реже 12 раз в год, могут быть приняты меры по выявлению возможной незаявленной эксплуатации. На других исследовательских установках, где количество заявленного ядерного материала составляет менее одного ЗК, инспекции, как правило, проводятся один раз в год, а на некоторых более крупных исследовательских реакторах — два раза в год. В этих случаях новые меры могут в значительной мере содействовать повышению способности Агентства обеспечивать гарантию отсутствия незаявленной деятельности.

Ниже приводится перечень мер, вводимых в рамках имеющихся правовых полномочий МАГАТЭ.

Отбор проб объектов окружающей среды.

Облучение сырьевого материала и его последующее растворение в горячей камере для выделения, например, плутония вполне возможно скрыть от классических мер по осуществлению гарантий, особенно если производимое количество составляет менее одного ЗК. Там, где проводятся объявленные инспекции с частотой один раз в год, существует возможность скрыть незаявленную деятельность или приостановить ее перед проведением инспекции МАГАТЭ. Однако при любом химическом процессе, применяемом для получения делящегося материала, малая часть его будет попадать в близлежащую среду, и никакие меры по предотвращению потерь не смогут скрыть следы такой деятельности: они будут непременно обнаружены с помощью сложных и высокочувствительных аналитических методов, которые используются при обработке проб объектов окружающей среды.

Последствия применения этих аналитических методов для деятельности установки незначительны, поскольку отбор проб производится путем взятия мазковых проб в горячих камерах или за их

Обзор мер по гарантиям и способности к обнаружению на исследовательских реакторах

Способность к обнаружению				
	Заявленный ядерный материал		Незаявленный ядерный материал/деятельность	
	Определение количества	Своевременность	Определение количества	Эксплуатация/производство
Действующие меры по гарантиям	да	да	нет	да*
Отбор проб объектов окружающей среды	нет	нет	нет	да**
Необъявленные инспекции	да	да	нет	да
Дистанционный мониторинг:				
визуальное наблюдение	нет	нет	нет	да
передача учетных данных	да***	да***	нет	нет
НРА, радиационный мониторинг	да***	да***	нет	да

* Действующая система гарантий основана на обнаружении незаявленной эксплуатации для производства одного (или более) ЗК незаявленного плутония или урана-233 в год.

** Отбор проб объектов окружающей среды также является результативным в случаях производства значительно менее одного ЗК в год.

*** В связи с мероприятиями по проведению необъявленных инспекций.

пределами во время обычных инспекций; существенной подготовки со стороны оператора в данных ситуациях не требуется.

Необъявленные инспекции. Необъявленной является такая инспекция, при которой государство и оператор уведомляются о намерении Агентства провести ее лишь по прибытии инспектора МАГАТЭ к месту входа на площадку. При этом необходимо содействие со стороны государства, поскольку для проведения таких инспекций требуется, чтобы оно предоставляло инспекторам многоразовые въездные визы или разрешало им безвизовый въезд. Кроме того, оператору установки, который должен быть готов к необъявленным инспекциям в любое время, надлежит принять меры по предоставлению инспектору Агентства доступа в кратчайшие сроки. Преимущество необъявленной инспекции состоит в том, что подтверждение отсутствия незаявленной деятельности на установке во время проведения инспекции позволяет с определенной степенью вероятности допустить отсутствие такой деятельности в течение всего срока с момента проведения предыдущей инспекции.

Дистанционный мониторинг. К системам дистанционного мониторинга относятся следующие виды деятельности:

Визуальное наблюдение. Монтаж телекамер с дистанционным управлением, которые позволяют постоянно наблюдать за операциями на установке и снизить вероятность осуществления незаявленной деятельности без ее обнаружения. Этот метод не является обременительным для оператора, поскольку единственное требование заключается в постоянном обеспечении достаточного освещения места наблюдения.

Данные измерений и учета. Дистанционная передача инспекционных данных обеспечит дополнительную гарантию отсутствия незаявленной деятельности, в особенности если она применяется в сочетании с необъявленными инспекциями. Степень использования необходимого оборудования на установке зависит от условий работы этой установки и эксплуатационной практики и требует содействия со стороны государства, ГСУК и оператора, эксплуатирующего установку, данные по которой будут передаваться в МАГАТЭ.

Применение дистанционного мониторинга позволит сократить потребность в непосредственном присутствии инспекторов и дополнительно снизить вмешательство в работу установки. (См. таблицу на предыдущей странице с общим обзором способностей к обнаружению при использовании на исследовательских реакторах новых мер по гарантиям.)

Дальнейшее сотрудничество

За последние годы МАГАТЭ и государства-члены принимали меры по усилению действенности и повышению эффективности системы гарантий, цель которых — подтвердить, что заявленные ядерные материалы того или иного государства по-прежнему используются в мирных целях и что не существует никаких незаявленных видов ядерной деятельности или ядерных материалов.

“Классическая” система гарантий, построенная на основе учета ядерных материалов, оказалась надежной в обеспечении мирного использования заявленных материалов, а также установок и объектов. Тем не менее эта система нуждается в дальнейшем укреплении для обеспечения гарантий в отношении незаявленных ядерных материалов и видов деятельности.

Некоторые из ранее одобренных новых мер по гарантиям направлены на укрепление системы и уже в определенной степени применяются. Они значительно повышают способность к обнаружению переключения заявленных ядерных материалов и производства незаявленных ядерных материалов. Однако они не позволяют определить количество незаявленного ядерного материала, произведенного в результате незаявленной деятельности. Для достижения этой цели в области проверки требуется активизировать усилия по сотрудничеству и принять дополнительные меры по гарантиям.

В настоящее время Совет управляющих МАГАТЭ рассматривает дополнительные меры по повышению эффективности и действенности гарантий. От результата его работы будет зависеть степень применимости таких дополнительных мер. □

Государства — члены МАГАТЭ уже одобрили ряд новых мер по гарантиям и теперь рассматривают другие меры.
(Фото: Павлсек/АЕА)

