

Современное состояние гарантий МАГАТЭ, применяемых на установках ядерного топливного цикла

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящей статьи заключается в том, чтобы исследовать современные подходы Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в области постановки под гарантии установок различного типа, используемых в ядерном топливном цикле. В ней рассматриваются цели и критерии гарантий, которые используются МАГАТЭ при планировании инспекций, а также конкретные процедуры применения Агентством гарантий. Первый раздел посвящен общим вопросам и содержит обзор гарантий, а также анализ процедур, применяемых в отношении большинства, если не всех, установок, находящихся под гарантиями Агентства. Во втором разделе рассматриваются установки конкретных типов и уделяется особое внимание конкретным мерам по гарантиям, применяемым в отношении этих установок. Степень разработки гарантий для установок различного типа разная; это объясняется отчасти тем, что опыт Агентства по постановке под гарантии установок одних типов значительно обширнее, чем опыт постановки под гарантии установок других типов. Например, Агентство имеет большой опыт постановки под гарантии энергетических реакторов на тепловых нейтронах, в частности легководных реакторов. Однако Агентство располагает весьма ограниченным опытом постановки под гарантии реакторов на быстрых нейтронах (несмотря на тот факт, что в настоящее время гарантии МАГАТЭ

применяются на нескольких реакторах на быстрых нейтронах и обеспечивающих их работу установках) . Что касается установок по обращению с материалами в балк-форме, то Агентство накопило значительный опыт по постановке под гарантии установок некоторых типов, а именно конверсионных заводов и заводов по изготовлению топлива. Опыт Агентства по применению гарантий на заводах по переработке невелик, и оно не имеет никакого опыта постановки под гарантии заводов по обогащению топлива, так как постановка под гарантии таких установок только началась. Для некоторых типов установок, таких, как заводы по обогащению и крупных заводов по переработке топлива, разработаны точные процедуры, однако за последнее время наметились общие принципы ожидаемого подхода Агентства к применению гарантий, и эти принципы обсуждаются в данной статье.

В свете состоявшейся ранее дискуссии можно констатировать как почти нечто само собой разумеющееся, что описанные здесь гарантии Агентства не являются статическими мерами, а находятся в постоянном развитии. Это развитие происходит не только в результате постановки под гарантии все более крупных и более сложных установок. Гарантии также постоянно совершенствуются на основе практического опыта, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на повышение эффективности гарантий, снижение уровня вмешательства в технологические операции установок, сведение к минимуму облучения операторов и инспекторов и уменьшение доли субъективных оценок при определении эффективности гарантий. Важную роль в достижении этих целей играют программы технической поддержки различных стран.

И, наконец, следует особо подчеркнуть, что эта статья не преследует целей оценки эффективности гарантий Агентства или выявления проблемных областей. Авторы лишь стремились показать, какими являются гарантии в настоящее время или какими их планируется сделать на различных этапах топливного цикла.

ЧАСТЬ I - ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Полномочия на применение гарантий Агентства

Пункт 5 статьи III Устава МАГАТЭ уполномочивает Агентство:

"Устанавливать и проводить в жизнь гарантии, имеющие своей целью обеспечить, чтобы специальные расщепляющиеся и иные материалы, услуги, оборудование, технические средства и сведения, предоставляемые Агентством или по его требованию или под его наблюдением или контролем, не были использованы таким образом, чтобы способствовать какой-либо военной цели; и распространять, по требованию сторон, применение этих гарантий на любые двусторонние или многосторонние соглашения или, по требованию того или иного государства, на любые виды деятельности этого государства в области атомной энергии".

Государства соглашаются принимать гарантии либо в соответствии с "соглашениями о проектах" поставки конкретных материалов, оборудования и технических средств, предоставляемых МАГАТЭ или при его посредничестве, "соглашениями о передаче гарантий", в которых государства передают МАГАТЭ свои обязанности по применению гарантий, изложенные в их соглашениях о сотрудничестве, "односторонней постановкой" государством под гарантии МАГАТЭ определенных установок, ядерного материала или всей ядерной деятельности государства, либо в соответствии с соглашениями, заключенными в связи с Договором о нераспространении ядерного оружия (Договор о нераспространении) .

Система гарантий МАГАТЭ изложена в двух документах МАГАТЭ: INFCIRC/66/Rev.2 и INFCIRC/153. Первый документ является основой соглашений о проектах, соглашений о передаче и соглашений об односторонней постановке под гарантии, в рамках которых гарантиям подлежат оборудование, установки, ядерный материал и(или) другой материал и

сведения. Второй документ является основой всех соглашений с неядерными государствами - участниками Договора о нераспространении, в рамках которых гарантиям подлежит весь ядерный материал во всей мирной ядерной деятельности государства. INFCIRC/153 определяет цель гарантий и дополнительно обязывает МАГАТЭ сформулировать на основе своей определенной деятельности по проверке технические выводы, сделанные в отношении неучтенного материала для каждой зоны баланса материала. INFCIRC/66/Rev.2 не содержит требуемой специфики заключения, но Устав обязывает Агентство провести определение соответствия и, если выявлено несоответствие, доложить об этом Совету управляющих. INFCIRC/66/Rev.2 предоставляет МАГАТЭ средства сделать в отношении ядерного материала выводы того же характера, какие требует INFCIRC/153. В каждой конкретной ситуации МАГАТЭ должно решить, позволяет ли ему применение процедур проверки ядерного материала выполнить свою обязанность обеспечения гарантий в отношении оборудования, установок, неядерного материала или учетных единиц, полученных на основе технологической информации.

Цели и критерии

Основное обязательство, принимаемое государством в рамках соглашений о гарантиях, заключенных в связи с Договором о нераспространении, состоит в том, чтобы "принять, в соответствии с положениями соглашения, гарантии по всему исходному или специальному расщепляющемуся материалу во всей мирной ядерной деятельности в пределах его территории, под его юрисдикцией или осуществляемой под его контролем где бы то ни было, исключительно с целью проверки того, чтобы такой материал не переключался на ядерное оружие или другие ядерные взрывные устройства".

Цели гарантий, дополнительно определенные в этих соглашениях, состоят в "своевременном обнаружении переключения значимых количеств ядерного материала с мирной ядерной деятельности на производство

ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств или на неизвестные цели, а также в сдерживании такого переключения в связи с риском раннего обнаружения". Включение выражения "на неизвестные цели" весьма важно для практического применения гарантий, так как оно означает, что МАГАТЭ не должно пытаться определить характер использования переключенного материала, и в частности, не должно определять, переключен ли ядерный материал на "производство ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств".

Понятия "своевременное обнаружение" и "значимые количества" были количественно определены в ходе осуществления соглашений о гарантиях. Кроме того, эти важные параметры эффективности ("значимое количество" и "время обнаружения") были обсуждены Постоянной консультативной группой по применению гарантий (ПКГПГ), которая в предварительном порядке одобрила значения, используемые Секретариатом для значимых количеств. В табл. 1 указаны эти значения и показана их связь с "пороговыми количествами".

"Пороговое количество" ядерного материала определяется как приблизительное количество специального расщепляющегося материала, необходимое для какого-либо ядерного взрывного устройства.

"Значимое количество" ядерного материала или "количество, значимое в отношении гарантий", понимается как приблизительное количество ядерного материала, по отношению к которому, учитывая любой возможный процесс конверсии, не может быть исключена возможность изготовления ядерного взрывного устройства.

Своевременность обнаружения также представляет собой важное понятие для системы гарантий Агентства, и она должна тщательно рассматриваться при оценке эффективности. Система гарантий Агентства основывается на предположении о том, что переключение значимого количества ядерного материала, осуществляется ли оно на основе стратегии разового или постоянного переключения, должно быть

Таблица 1. Пороговые количества и количества, значимые в отношении гарантий

А. Пороговые количества

Материал	Пороговое количество (ПК)	ПК применяется к:
Pu ($^{239}\text{Pu} > 95\%$)	8 кг	Всему элементу
^{233}U	8 кг	Всему изотопу
U ($^{235}\text{U} > 90-95\%$)	25 кг	^{235}U

В. Количества, значимые в отношении гарантий

	Материал	Количество, значимое в отношении гарантий (КЗГ)	КЗГ применяется к:
материал "не-посредственно-го использования"	Pu	8 кг	Всему элементу
	^{233}U	8 кг	Всему изотопу
	U ($^{235}\text{U} \geq 20\%$)	25 кг	^{235}U
	Плюс правила для смесей, если необходимо		
материал "косвенно-го использования"	U ($^{235}\text{U} < 20\%$)*	75 кг	^{235}U
	Th	20 т	Всему элементу
	Плюс правила для смеси, если необходимо		

* Включая природный и обедненный уран.

обнаружено своевременно. В каждой конкретной ситуации Агентство устанавливает частоту и сроки, в которые оно должно прийти к выводу относительно того, что не произошло переключение, а также количество материала, к которому относится вывод, вероятность обнаружения и вероятность ложной тревоги.

Секретариат разработал критерии своевременности и использует их в пробном порядке, когда установка определенного типа ставится под гарантии впервые. В отношении точной проверки всех компонентов баланса материала, за которыми должен следовать анализ неучтенного материала (НМ) и заключение о причинах его появления, своевременность является следствием прежде всего частоты определения фактически наличного количества материала. Однако в случаях, когда частота определения и проверки фактически наличного количества материала, необходимых для обеспечения своевременности, серьезным образом могла бы помешать эксплуатации установки, своевременность должна быть обеспечена высокой частотой операций, направленных на оценку количеств ядерного материала на установке.

Критерии своевременности были недавно обсуждены на двух заседаниях ПКГПГ, которая сделала предварительную рекомендацию Генеральному директору о том, чтобы "время обнаружения" использовалось как параметр для своевременности и чтобы оно соответствовало порядку величины "времени конверсии" с учетом всех оговорок, сопровождающих определение этих двух понятий. Вообще говоря, "время конверсии" определяется как минимальное время, необходимое для преобразования различных форм ядерного материала в металлические компоненты ядерного взрывного устройства, а "время обнаружения" определяется как максимальное время, которое может истечь между переключением и обнаружением его с помощью гарантий Агентства. Времена конверсии, оцененные ПКГПГ для различных категорий материалов, приведены в табл. 2.

В результате приобретения дополнительного практического опыта и дальнейших обсуждений в ПКГПГ

Таблица 2. Расчетное время конверсии материалов

Классификация материала	Начальная форма материала	Форма по завершении процесса	Расчетное время конверсии
1	Pu, U _{в/о} * или металлический ²³³ U	Готовый плутоний или урановые металлические компоненты	порядка нескольких дней (7-10)
2	PuO ₂ , Pu(NO ₃) ₄ или другие чистые соединения. U _{в/о} или окись ²³³ U или другие чистые соединения. Смешанное окисное топливо (COT) или другие облученные чистые смеси Pu, или U [(²³³ U + ²³⁵ U) > 20%] Pu, U _{в/о} и(или) ²³³ U в скрапе или прочих нечистых соединений	"	порядка нескольких недель** (1-3)
3	Pu, U _{в/о} или ²³³ U в облученных топливах***	"	порядка нескольких месяцев (1-3)
4	Уран, содержащий < 20% ²³⁵ U и ²³³ U; торий		порядка одного года

* Уран, обогащенный до 20 % или более по изотопу ²³⁵U.

** Хотя указанный диапазон 1-3 недели для конверсии данных соединений плутония и урана нельзя целиком отнести за счет действия единственного фактора, сроки для чистых соединений находятся на нижнем краю диапазона, а для смесей и скрапа – на верхнем краю диапазона.

*** Уровень облучения устанавливается индивидуально в каждом случае.

и других консультативных группах, Секретариат продолжает использовать значения, о которых идет речь, в качестве определяющих значений.

В дополнение к этим общим рекомендациям в отношении своевременности и значимых количеств МАГАТЭ должно стремиться к системе гарантий, которая с определенной вероятностью удовлетворяет этим целям. Степень вероятности, с которой должны удовлетворяться эти цели, должна в свою очередь быть определена. Ни в документе INFCIRC/66/Rev.2, ни в документе INFCIRC/153 конкретно не упоминается концепция степени уверенности обнаружения, но МАГАТЭ интерпретировало эти документы как безусловно включающие в себя это понятие. Априорная вероятность обнаружения, к которой стремятся, обычно составляет 90% или выше и часто достигает 95%.

Конкретные количественные цели для определенных видов установок обсуждаются в части II.

Основные понятия и процедуры

Основным подходом МАГАТЭ к достижению упомянутых выше целей гарантий является процесс проверки, состоящий из трех основных этапов:

1) изучения данных, предоставленных государством в:

- сведениях о конструкции;
- учетных отчетах;
- специальных отчетах;
- проработанных и уточненных отчетах;
- предварительном уведомлении о международных передачах;

2) сбора МАГАТЭ информации во время:

- инспекций по проверке информации о конструкции;
- инспекций для специальных целей и обычных инспекций;
- специальных инспекций;

- 3) оценки информации, предоставленной государством и собранной во время инспекций, для целей определения полноты, точности и правильности информации, предоставленной этим государством.

Основными концепциями для достижения целей гарантий Агентства, с учетом одновременного сведения до минимума помех работе установок, являются в частности:

- эффективный контроль потока исходного и специального расщепляющегося материала путем использования приборов и других методов в определенных стратегических точках;
- периодическое подведение балансов материала путем определения фактически наличных количеств материала и их проверок;
- независимая проверка Агентством всей отчетности для ядерного материала, подлежащего гарантиям, с использованием химического анализа и неразрушающих измерений.

По отношению к последнему пункту основной принцип системы гарантий МАГАТЭ состоит в сравнении информации, представленной инспектируемой стороной, и результатов независимой проверки и наблюдений, выполненных Агентством. То обстоятельство, что потенциальными переключателями могут быть государства, а также операторы установок, отдельные лица или группы лиц, требует, чтобы информация, представляемая государством, проверялась независимым образом.

Оба документа, INFCIRC/66/Rev.2 и INFCIRC/153, требуют, чтобы государство представляло информацию Агентству. Более конкретно они требуют, чтобы государство:

- представляло МАГАТЭ информацию о конструктивных особенностях установки и другую информацию, связанную с гарантиями;
- вело учетные документы для каждой установки или зоны баланса материала;

- представляло МАГАТЭ отчеты относительно ядерного материала, основанные на ведущихся учетных документах.

Существование национальной системы учета и контроля является необходимым условием применения эффективных международных гарантий, но не может заменить последние. Агентство соответствующим образом учитывает техническую эффективность национальной системы при проведении своей деятельности по проверке. Соглашения типа INFCIRC/153 содержат требования, гласящие, что "государство создает и ведет систему учета и контроля за всем ядерным материалом, подлежащим гарантиям...". Они предписывают, в частности, что система должна быть основана на структуре зон баланса материалов и должна предусматривать создание измерительной системы, системы учетных документов и отчетов, процедур определения фактически наличного количества материалов и мероприятий, обеспечивающих правильное применение процедур учета и других положений. Документ INFCIRC/66/Rev2 не говорит явно о национальной системе учета ядерного материала и контроля за ним или о всех перечисленных элементах такой системы, но он предписывает, что государство должно вести материально-балансовые и эксплуатационные учетные документы и что оно должно представлять МАГАТЭ материально-балансовые и эксплуатационные отчеты.

Проверка осуществляется Агентством двумя основными способами:

- учет материалов;
- сохранение и наблюдение.

Учет ядерного материала представляет собой в настоящее время основной механизм гарантий МАГАТЭ, тогда как сохранение и наблюдение служат в качестве важных дополнительных мер. Учет материала относится к сбору измерений и других определений, которые позволяют государству и Агентству при проверке данных государства постоянно иметь текущую

картину расположения ядерного материала и его перемещения в зоны баланса материала (ЗБМ) и из них.

Зона материального баланса представляет собой зону, в которой подлежит измерению весь поступающий или выходящий из нее материал и в которой при необходимости можно определить инвентарное количество материала. Создание зоны материального баланса осуществляется путем консультаций между государством и Агентством, и их указания включаются в дополнительные положения, которые описывают "тонкую структуру" соглашения. Измерения производятся в стратегических точках, именуемых "ключевыми точками измерения" (КТИ) и представляющих собой точки, где может быть собрана и проверена важная информация о потоках и инвентарных количествах и где ядерный материал появляется в такой форме, которая позволяет провести такое измерение.

Учет в системе МАГАТЭ состоит из начального определения фактически наличного количества материала для установки или зоны баланса материала; сохранения зарегистрированного на основе первоначального определения количества материала и последующих измеренных изменений инвентарных количеств; проверки и корректирования зарегистрированных количеств материала и периодических измерений и проверок фактически наличного количества материала; представления государством отчетов в МАГАТЭ. На основе этих отчетов Агентство ведет ряд учетных документов параллельно документам государства, причем они подлежат проверке и сравнению с учетными документами, находящимися на установке. Для установок с ядерным материалом в неопечатанной балк-форме в результате неопределенностей измерения обычно возникает некоторое различие между зарегистрированным количеством материала и фактически наличным количеством материала. Могут также существовать различия по другим причинам, например, ввиду невозможности измерить части

инвентарного количества или вследствие неизмеренной потери материала или переключения. Разность между зарегистрированным количеством материала и фактически наличным количеством материала представляет собой "неучтенный материал", сокращенно именуемый "НМ". Как переменная, полученная в результате измерений, НМ подвержен неопределенности, как и сами измерения. Таким образом, НМ может быть средством суждения о возможности переключения.

Мерой по сохранению называют такую меру, которая использует существующие конструкционные характеристики, такие, как контейнеры, баки или трубы, для обеспечения физической целостности зоны или учетной единицы путем предотвращения необнаруженного перемещения ядерного материала или оборудования. Такие меры включают в себя применение печатей, сигнализирующих о вмешательстве, или устройств для наблюдения, обеспечивающих обнаружение любого изменения инвентарного количества в данном контейнере. Такие устройства не должны применяться к зонам или конструкциям, через которые материал проходит в ходе нормальной деятельности завода. В случае нарушения или возникновения возможности нарушения какой-либо меры по сохранению Агентство должно быть уведомлено скорейшим возможным образом. Например, если есть доказательства того, что нарушена или подверглась какому-либо воздействию печать, то обычно требуется немедленное уведомление.

Понятие "наблюдение" обычно относится к осуществляемому как человеком, так и с помощью приборных средств наблюдению, направленному на указание перемещения ядерного материала. Наблюдение может, например, включать в себя установку в стратегических точках камер или других устройств с целью контроля мер по сохранению или для наблюдения за изменениями инвентарного количества. Персонал может выполнять аналогичные функции путем проведения личного контроля - как непрерывного, так и периодического - в ключевых точках наблюдения. В случае непосредственного применения со стороны МАГАТЭ наблюдений человеком,

IAEA INTERNATIONAL SAFEGUARDS



AS OF 1 AUGUST 1980

blue	States Party to NPT with NPT Safeguards Agreements in Force, and NPT Nuclear Weapons States.
green	States Party to NPT for which NPT Safeguards Agreements Are Not Yet in Force.
red	Non-NPT States in which IAEA Safeguards Agreements Are in Force on All Nuclear Activities.
white	Non-NPT States having No Significant Nuclear Activities (except for France* and China*).
yellow	States in which Certain Nuclear Activities are Not under IAEA Safeguards.

- * Nuclear Weapons States.
- All nuclear activities currently under IAEA safeguards (non-NPT).
- ▲ Small unsafeguarded research reactor. No safeguarded nuclear activities. NPT signatory.

The sole purpose of this map is to illustrate the scope of IAEA safeguards and it does not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the IAEA concerning the legal status of any country or territory or of its authorities, or concerning the delimitation of frontiers.

ATLANTA, GA. 30301

11



blue

States Party to NPT with NPT Safeguards Agreements in Force, and NPT Nuclear Weapons States

Afghanistan	Iceland	New Zealand
Australia	Indonesia	Nicaragua
Austria	Iran	Norway
Belgium	Iraq	Paraguay
Bulgaria	Ireland	Peru
Canada	Italy	Philippines
Costa Rica	Jamaica	Poland
Cyprus	Japan	Portugal
Czechoslovakia	Jordan	Romania
Denmark	Korea, Republic of	Samoa
Dominican Republic	Lebanon	Senegal
Ecuador	Lesotho	Singapore
El Salvador	Libyan Arab Jamahiriya	Sudan
Ethiopia	Liechtenstein	Suriname
Fiji	Luxembourg	Swaziland
Finland	Madagascar	Sweden
Gambia	Malaysia	Switzerland
German Democratic Republic	Maldives	Thailand
Germany, Federal Republic of	Mauritius	USSR *
Ghana	Mexico	UK *
Greece	Mongolia	USA *
Holy See	Morocco	Uruguay
Honduras	Nepal	Yugoslavia
Hungary	Netherlands	Zaire
	(including Neth. Antilles)	

green

States Party to NPT for which NPT Safeguards Agreements Are Not Yet in Force

Bahamas	Mali
Bangladesh	Malta
Barbados	Nigeria
Benin	Panama
Bolivia	Rwanda
Botswana	San Marino
Burundi	Sierra Leone
Central African Republic	Somalia
Chad	Sri Lanka
Congo	St. Lucia
Democratic Kampuchea	Syrian Arab Republic
Democratic Yemen	Togo
Gabon	Tonga
Guinea-Bissau	Tunisia
Grenada	Turkey ■
Guatemala	Tuvalu
Haiti	United Republic of Cameroon
Ivory Coast	Upper Volta
Kenya	Venezuela ■
Lao People's Democratic Republic	[Taiwan] ■
Liberia	

red

Non-NPT States in which IAEA Safeguards Agreements Are in Force on All Nuclear Activities

Argentina	Cuba
Brazil	Democratic People's Republic of Korea
Chile	
Colombia	

white

Non-NPT States having No Significant Nuclear Activities (except for France* and China*)

Albania	Guyana	Qatar
Algeria	Kuwait	Sao Tome and Principe
Angola	Malawi	Saudi Arabia
Bahrain	Mauritania	Seychelles
Bhutan	Monaco	Trinidad and Tobago
Burma	Mozambique	Uganda
Cape Verde	Nauru	United Arab Emirates
Comoros	Niger	United Republic of Tanzania
Djibouti	Oman	Viet Nam
Equatorial Guinea	Papua New Guinea	Yemen Arab Republic
Guinea		Zambia

yellow

States in which Certain Nuclear Activities are **Not under IAEA Safeguards**

Egypt ▲
India
Israel
Pakistan
South Africa
Spain

*** Nuclear Weapons States:**

United States of America*
Union of Soviet Socialist Republics*
United Kingdom*
France*
China*

■ All nuclear activities currently under IAEA safeguards (non-NPT).

▲ Small unsafeguarded research reactor. No safeguarded nuclear activities.
NPT signatory.

безусловно, должны соблюдаться ограничения в отношении инспекционного доступа, отраженные в решениях, которые достигнуты в дополнительных положениях, заключенных совместно с государством.

Методы сохранения и наблюдения Агентства тщательно продумываются и осуществляются таким образом, чтобы избежать каких-либо дополнительных физических ограничений на перемещение материала или доступ к нему; вместе с тем они должны предоставлять МАГАТЭ информацию относительно того, произошли ли такое перемещение и доступ, когда отсутствовали инспектора, с тем чтобы сохранить полноту проведенных ранее МАГАТЭ измерений ядерного материала и информировать МАГАТЭ о потоках материала в важных точках топливного цикла.

Важнейшим моментом для проверок Агентства является право проводить инспекции установок на местах. Как отмечено выше, МАГАТЭ проводит три типа инспекций: инспекции для специальных целей, обычные инспекции и специальные инспекции. Большая часть инспекционной деятельности связана с обычными инспекциями. Соглашение о гарантиях оговаривает максимальную интенсивность и частоту обычных инспекций. Часть обычных инспекций может носить необъявленный характер.

Цель обычных инспекций состоит в том, чтобы проверить, что информация, содержащаяся в отчетах, представленных государством, соответствует материально-балансовым и эксплуатационным учетным документам, и в том, чтобы проверить размещение, подлинность, количество и состав материалов, поставленных под гарантии, и проверить информацию о причине расхождений у отправителя и получателя, неопределенностей в зарегистрированных инвентарных количествах и НМ. Инспекции для специальных целей проводятся для проверки информации о конструкции, исходных отчетов и изменений с момента выпуска исходного отчета и для проверки материала, участвующего в международных передачах. Специальные инспекции проводятся для проверки информации, содержащейся в специальных отчетах, или для сбора дополнительной информации, когда МАГАТЭ счи-

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ – КНИГА 22, НОМЕР 3/4

тает, что информация, представленная государством или полученная в результате обычных инспекций, недостаточна для того, чтобы Агентство выполнило свои обязанности.

Инспекционная деятельность МАГАТЭ включает в себя: изучение соответствующих учетных документов; проведение независимых измерений на ядерном материале, поставленном под гарантии, с использованием оборудования МАГАТЭ, а также оборудования оператора или государства, проверяя его нормальное функционирование, калибровку и процедуры; получение образцов и гарантию их правильного сбора, обработки, обращения с ними и отгрузки; использование и обслуживание оборудования МАГАТЭ для наблюдения; постановку, инспектирование и снятие печатей МАГАТЭ.

МАГАТЭ предпринимает "все усилия для обеспечения максимальной эффективности затрат, и для того, чтобы обеспечить это, должно использовать наряду с прочими средствами концентрацию процедур по проверке на тех этапах ядерного топливного цикла, включающих в себя производство, переработку, использование или хранение ядерного материала, на которых легче всего может быть изготовлено ядерное оружие или другие ядерные взрывные устройства, и сведение к минимуму процедур по проверке в отношении ядерного материала, при условии, что это не затруднит применение гарантий со стороны МАГАТЭ". Поэтому заявления о неучтенном материале и пределах точности его измерения не обязательно должны основываться на равноинтенсивной деятельности по проверке для всех типов установок и для всех типов ядерного материала. Однако эта деятельность должна во всех случаях дать МАГАТЭ возможность выполнить цель гарантий, а именно своевременно обнаружить переключения значимых количеств ядерного материала. При установлении структуры системы проверки МАГАТЭ учитывает не только то обстоятельство, может ли материал легко быть превращен в ядерное оружие или взрывчатые вещества, но также связь между различными частями ядерного топливного цикла. Например, хотя низкообогащенный уран не может непосредственно использоваться для изготовления

ядерного оружия, его значение в качестве исходной точки для производства плутония или для дальнейшего обогащения не следует упускать из виду.

Для того чтобы достигнуть оптимальной эффективности затрат, одновременно обеспечив возможность обнаружить переключение, система проверки МАГАТЭ включает в себя два различных подхода в зависимости от типа ядерной установки. Для установок, в которых ядерный материал производится или улучшается качественно, таких, как обогатительные установки и определенные энергетические реакторы и крупные исследовательские реакторы, и для химических установок по переработке, в которых материал, произведенный в реакторе, отделяется от других компонентов облученного топлива, критическую важность имеет проверка всех потоков. На других типах установок основная инспекционная деятельность представляет собой проверку инвентарных количеств.

Заключение о деятельности МАГАТЭ по проверке формулируется в "заявлении в отношении каждой зоны баланса материала о количестве неучтенного материала в течение определенного периода с указанием пределов точности заявленных количеств". Важно, чтобы техническое заключение о деятельности МАГАТЭ по проверке включало в себя оценку суммарных неопределенностей измерений оператора и данные оператора о неучтенном материале, скорректированные с учетом различий между измерениями МАГАТЭ и оператора. Это техническое заключение указывает точность измерений МАГАТЭ и степень согласия между измерениями оператора и измерениями МАГАТЭ.

Выводы обычных инспекций, выполненных в рамках соглашений о гарантиях в связи с Договором о нераспространении, сообщаются соответствующему государству в форме заявления. После проведения физической инвентаризации государству посылается второе заявление дополнительного типа, содержащее выводы, сделанные на основе деятельности по проверке, осуществленной инспектором. Это заявление показывает, проводился ли надлежащим образом учет материала, подлежащего га-

рантиям, в течение периода между проведением физических инвентаризаций. Если Агентство не удовлетворено результатами, полученными во время инспекций, то требуется дальнейшее изучение, и государству посылается запрос изучить причины несоответствия и предпринять необходимые шаги для исправления положения. Заявления, направленные государствам в отношении гарантий, примененных в связи с соглашениями INFCIRC/66/Rev.2, просто сообщают о том, обнаружило МАГАТЭ или нет отклонения от условий соглашения.

Стратегии переключения

Многие из стратегий переключения, которым пытаются противодействовать гарантии, являются общими для нескольких, если не для всех, типов ядерных установок. Например, лицо, осуществляющее переключение, может позволить включить переключенное количество в НМ. Это может сопровождаться или не сопровождаться указанием завышенного значения истинной неопределенности измерения НМ. Лицо, осуществляющее переключение, может также попытаться предотвратить появление его в НМ путем фальсификации потока или данных об инвентарных количествах. Например, оно может попытаться использовать любой из следующих методов сокрытия:

- a) предоставить заниженные данные о получаемых количествах;
- b) предоставить завышенные данные об отгруженных количествах или заявить о несуществующих отгрузках;
- c) завысить данные о выброшенных отходах;
- d) завысить данные о фактически наличном количестве материала.

Оптимальная стратегия переключения представляет собой сочетание переключения в НМ и фальсификации данных о потоке или инвентарном количестве. Пути переключения, связанные с конкретными типами установок, обсуждаются в соответствующих разделах части II, но большинство методов сокрытия попадают в общие категории, перечисленные выше.

ЧАСТЬ II - ПОДХОДЫ К ПОСТАНОВКЕ ПОД ГАРАНТИИ УСТАНОВОК КОНКРЕТНЫХ ТИПОВ

РЕАКТОРЫ

Для большинства энергетических реакторов, поставленных в настоящее время под гарантии, существует несколько общих и единых особенностей. Практически во всех случаях реакторное топливо существует в форме дискретных, идентифицируемых учетных единиц (элементов и сборок). Информация о ядерном материале, содержащемся в этих учетных единицах, получается в результате измерений на установке по изготовлению топлива и подсчета потерь ядерного материала (то есть обеднения при выгорании) и производства его (превращения исходных материалов в расщепляющиеся материалы) в реакторе. Поэтому можно определить количество ядерного материала в облученном топливе на основе данных, полученных на установках по изготовлению топлива, учитывая потери и производство материала, и обосновать такое определение путем подсчета и идентификации учетных единиц при условии того, что можно полагаться на сохранение физической целостности.

Реакторные установки обычно рассматриваются как одна зона баланса материала, имеющая не менее чем три места расположения инвентарных количеств, а именно:

- одну или больше зон хранения свежего топлива;
- один или больше блоков активных зон реактора;
- одну или больше зон хранения отработанного топлива.

Эти места нахождения инвентарных количеств составляют ключевые точки измерения инвентарных количеств. Обычно единственными ключевыми точками измерения потока являются те, которые отражают получение свежего топлива и отгрузку отработанного топлива.

Для реакторов существуют две основные угрозы переключения:

- извлечение одного или более дискретных элементов или сборок с заменой или без замены фальсифициро-

ванными сборками или частично фальсифицированными сборками;

- использование поставленного под гарантии топлива для облучения необъявленных исходных материалов (и последующего производства плутония или урана-233) .

Более конкретные угрозы, являющиеся следствием этих двух общих возможностей, обсуждаются ниже в связи с конкретными типами реакторов.

ЛЕГКОВОДНЫЕ РЕАКТОРЫ

Особенности, имеющие отношение к гарантиям

Из всех типов ядерных установок, к которым МАГАТЭ применяет гарантии, легководный реактор (ЛВР) , по-видимому, представляет наименьшие проблемы. Топливо ЛВР имеет относительно большие размеры и включает относительно небольшое число топливных элементов как в активной зоне, так и в бассейнах для хранения. Свежее топливо, содержащее низкообогащенный уран, дорого в изготовлении, и жесткие топливные спецификации на заводе по изготовлению топлива означают, что количество урана в топливе и его обогащение известны в самых узких пределах в любой точке топливного цикла. Обогащение топлива обычно колеблется между 1,5 и 4% урана-235. Топливо обычно представляет собой таблетки UO_2 , которые герметизированы в цилиндрических трубках. Стержни размещены в топливных сборках матричного типа.

Предполагая, что свежее топливо не содержит плутония, отработанное топливо в ЛВР с образовавшимся в нем плутонием имеет более высокую стратегическую ценность, чем свежее топливо. По этой причине большая часть усилий по гарантиям уделяется отработанному топливу. В типичной установке большая часть образовавшегося плутония находится в бассейне для отработанного топлива, а остальная часть в активной зоне. Большая часть обогащенного урана расположена в активной зоне, а несколько меньшее количество в бассейне для отработанного топлива , в то время как еще

меньшее количество находится на складе для свежего топлива.

Типичный ЛВР работает с топливным циклом от 12 до 18 месяцев. В конце этого периода производится остановка для перегрузки и техобслуживания, которые занимают приблизительно шесть недель. Во время каждой остановки извлекается и заменяется около одной трети топлива. Оставшееся топливо обычно переставляется в зоне для следующего рабочего цикла. Свежее топливо обычно поступает на площадку за 2-3 месяца до начала остановки. Обычная практика обращения требует нахождения облученного топлива в бассейне для охлаждения от 6 месяцев до года перед отправлением его на завод по переработке топлива. Однако на многих установках отработанное топливо содержится в настоящее время в бассейне выдержки в течение более длительного периода, чем первоначально ожидалось. Типичный бассейн может содержать до полутора количеств топлива, находящегося в активной зоне.

Возможности переключения

Ниже приведен пример возможностей переключения, методов сокрытия и соответствующих мер по гарантиям в случае ЛВР:

Возможности переключения	Методы сокрытия	Меры по гарантиям
Изъятие топливных элементов со склада свежего топлива	Замена имитаторами	Применение печатей Измерения методом НРА
Изъятие топливных элементов из активной зоны	Замена имитаторами	Печати Оптическое наблюдение
Облучение необъявленных топливных элементов в активной зоне	Необъявленные остановки	Печати Оптическое наблюдение

Возможности переключения	Методы сокрытия	Меры по гарантиям
Изъятие топливных элементов из бассейна для отработанного топлива	Замена имитаторами	Оптическое наблюдение Измерения методом НРА
Изъятие топливных элементов из партии грузов при отправке с установки или после нее	Замена имитаторами в партии груза. Занижение количества отгруженных элементов и замена имитаторами в бассейне для отработанного топлива	Опечатывание транспортнoвoчнoгo контейнера перед отгрузкой и проверка содержимого на установке получателя

Цель обнаружения

Целью обнаружения для легководных реакторов является отсутствие одной или более сборок отработанного топлива в пределах 2-3 месяцев и отсутствие одной или более сборок свежего топлива в пределах одного года. Методы гарантий, примененные к объявленному топливу в активной зоне, должны автоматически обнаруживать введение в нее необъявленного топлива в тех же самых пределах времени, и поэтому для этого типа переключения не принимается никакой отдельной цели обнаружения.

Подход в отношении гарантий

Двумя основными инструментами гарантий в отношении ЛВР являются подсчет учетных единиц и идентификация и наблюдение и сохранение. Использование подсчета учетных единиц означает, что инспектор контролирует количество топливных сборок, а не количество ядерного материала, хотя эту концепцию должно смягчать то обстоятельство, что во многих конструкциях топливных элементов для ЛВР можно извлечь отдельные топливные

стержни из топливныхборок. Меры по сохранению и наблюдению обычно используются для контроля (облученного) топлива. Поскольку активные зоны ЛВР обычно не открываются чаще одного раза в год, зачастую оказывается возможным опечатать крышки сосудов высокого давления. Топливные сборки ЛВР имеют большие размеры, поэтому контейнер для транспортировки их после облучения вместе с необходимой защитой довольно массивен, медленно перемещается и может легко быть обнаружен системой оптического наблюдения. Изъятие облученного топлива без экранирования не рассматривается как вероятная возможность.

Агентство обычно осуществляет на ЛВР от 4 до 8 инспекций в год при средней цифре около шести на установку. В целом трудозатраты Агентства на каждом ЛВР обычно составляют 10-15 человеко-дней в год.

Ниже указаны конкретные виды деятельности по гарантиям и их цели

- Проверка материально-балансовых учетных документов и сравнение их с отчетами Агентству: как и в случае всех установок с поставленным под гарантии материалом, материально-балансовые учетные документы подвергаются проверке, для того чтобы удостовериться, что они формально правильны (т.е. внутренне не противоречивы и правильны арифметически). Они также проверяются для подтверждения того, что информация, содержащаяся в них, полна и согласуется с информацией, содержащейся в отчетах, представленных в МАГАТЭ. Эта деятельность направлена на установление доверия к зарегистрированному количеству материала, объявленному на установке, т.е. количеству учитываемого материала. "Отчеты включают, например, отчеты об изменениях инвентарных количеств, материально-балансовые отчеты или списки фактически наличных количеств.

- Изучение эксплуатационных учетных документов и сравнение их с материально-балансовыми учетными документами: эксплуатационные учетные документы проверяются точно таким же образом, как материально-балансовые учетные документы, и используются для вы-

яснения распределения топливных сборок в пределах установки. Таким образом обеспечивается дополнительная проверка в отношении изменений инвентарных количеств в активной зоне. Например, диаграмма ленточного самописца, которая показывает, что реактор непрерывно работал в течение инспекционного периода, будет дополнительно подтверждать заявление о том, что не произошло изменения инвентарного количества в активной зоне. Принятый в настоящее время МАГАТЭ принцип состоит в том, что МАГАТЭ представляются данные о содержании плутония в отработанном топливе в момент окончательной выгрузки из реактора, хотя в некоторых случаях отчет делается на момент времени отгрузки с установки.

- Проверка свежего топлива перед загрузкой в активную зону: Цель этой деятельности состоит в том, чтобы подтвердить, что не произошло переключения свежего топлива. Кроме того, она обеспечивает подтверждение заявления оператора в отношении топлива, которое должно быть загружено в активную зону. Физическая проверка включает в себя подсчет общего числа сборок на складе и сравнение серийных номеров сборок с независимыми данными о сборках, которые должны иметься.

- Проверка активной зоны: Она осуществляется путем подсчета учетных единиц или идентификации и счета топливных сборок в активной зоне реактора вслед за перегрузкой и перед закрытием крышки корпуса реактора. Вслед за этим применяются методы сохранения и(или) наблюдения, которые показывают, что реактор остается закрытым. Эти методы включают в себя использование печатей (например, на защите от летящих предметов) или использование устройств для наблюдений через постоянные интервалы с меньшим интервалом между экспозициями, чем время, необходимое для того, чтобы открыть крышку реактора. Поскольку во время перегрузки опечатывание неосуществимо, необходимо держать топливо в активной зоне под наблюдением, причем можно использовать камеры с меньшим интервалом между экспозициями, чем расчетное время извлечения топлива. Непосредственно после того, как про-

изошла перегрузка и перед закрытием активной зоны, оператор определяет фактически наличное количество материала, а инспектор проверяет его, и после закрытия вновь накладываются печати и(или) восстанавливается оптическое наблюдение.

Осуществление гарантий в отношении отработанного топлива ЛВР осуществляется в той степени, в которой это возможно при использовании оборудования для оптического наблюдения, - либо фотографического, либо видеооборудования, - которое должно показывать, что для транспортировки топлива не были использованы тяжелые экранированные контейнеры. В случае отказа камер или их запоздалой установки в качестве средства восстановления или установления инвентарного количества используются метод подсчета учетных единиц или неразрушающий анализ с использованием произвольной выборки отработанного топлива.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ С ПЕРЕГРУЗКОЙ ТОПЛИВА НА МОЩНОСТИ

Особенности, имеющие отношение к гарантиям

Перегрузка топлива в реакторах типа МАГНОКС и КАНДУ и некоторых других энергетических реакторах осуществляется непрерывно, без остановки реактора. Эта особенность делает применение гарантий в отношении этих реакторов гораздо более трудным, чем для ЛВР. В данном докладе рассматриваются главным образом существующие меры, а не новые меры, разрабатываемые для реакторов типа КАНДУ, которые в настоящее время пока еще не осуществляются. Отработанное топливо извлекается, а свежее топливо вводится с помощью дистанционно управляемых перегрузочных машин. Затем отработанное топливо по перегрузочному каналу переправляется в зону хранения отработанного топлива, где хранение осуществляется в контейнерах или "скипах". Хранение может осуществляться таким образом, что оно будет способствовать или не способствовать подсчету топливных элементов; в частности, контейнеры зачас-

тую устанавливаются в плотно заполненные трехмерные стойки. Графики переработки нестабильны; в некоторых случаях облученное топливо регулярно отгружается с установки, тогда как в других случаях оно содержится в хранилище в течение длительного времени.

Все энергетические реакторы с перегрузкой топлива на мощности, поставленные под гарантии Агентства, используют в качестве топлива в основном природный уран. Поэтому отработанное топливо, содержащее образовавшийся плутоний, имеет более высокую стратегическую ценность, чем свежее топливо. По этой причине подход в отношении гарантий для энергетических реакторов с перегрузкой топлива на мощности главным образом направлен на решение задачи проверки извлечения облученного топлива из реакторов. В этом случае он включает в себя введение мер сохранения и наблюдения, в основном "подсчет учетных единиц", и во все большем ряде случаев проверку того, что извлекаемые учетные единицы представляют собой облученные топливные пучки. Инспектор визуально подсчитывает число топливных пучков, элементов или сборок и в некоторых случаях проводит качественные измерения на ядерном материале. Однако, как обсуждается ниже, это нелегкая задача. В специальных случаях, таких, как передача или отгрузка топлива, т.е. когда облученное топливо должно быть перемещено оператором для его собственных целей, может быть применен неразрушающий анализ.

Некоторые поставленные под гарантии энергетические реакторы с перегрузкой топлива на мощности содержат низкообогащенное и(или) обедненное урановое топливо, а также природное урановое топливо. По крайней мере один реактор содержит смешанное окисное топливо. Некоторые энергетические реакторы с перегрузкой топлива на мощности оборудованы низко- или высокообогащенными бустерными стержнями, которые помогают сохранить критичность реактора в случае значительных изменений мощности атомной электростанции. Некоторые реакторы имеют кобальтовые стержни, являющиеся частью физической конструкции реактора, но не являю-

щиеся топливом, которые извлекаются из реактора и подвергаются обращению отдельно от топлива.

Помимо высокой частоты замены топлива, другими общими для всех энергетических реакторов с перегрузкой топлива на мощности особенностями, имеющими отношение к гарантиям, являются наличие в инвентарном количестве большого числа относительно небольших топливных пучков и недоступность активной зоны для целей проверки во время эксплуатации.

Возможности переключения

Ниже приведены примеры возможностей переключения, методов сокрытия и соответствующих мер по гарантиям для энергетических реакторов с перегрузкой топлива на мощности:

Возможности переключения	Методы сокрытия	Меры по гарантиям
Изъятие топливных элементов со склада свежего топлива	Замена имитаторами	Возможно применение простых и комплексных методов НРА для проверки инвентарных количеств
Облучение необъявленных топливных элементов	Фальсификация учетных документов	Установление в максимально возможной степени инвентарных количеств отработанного топлива
Изъятие облученного топлива из активной зоны и из бассейна для отработанного топлива	Временное замещение с других установок Фальсификация учетных документов	Наблюдение и сохранение для возможных маршрутов переключения (все важные точки) между активной зоной и бассейном для отработанного топлива

Замена имита-
торами

Счетчики пучков

Опечатывание контей-
неров или лотков для
храненияЗатруднение до-
ступа к мате-
риалу в бассей-
не для охлажде-
нияИзмерение методом
НРАИзъятие топлив-
ных элементов из
партии груза во
время отправки с
установки или
после нееЗамена имита-
торами в пар-
тии груза. Ука-
зание занижен-
ного количества
отгружаемых
элементов и
замена имита-
торами в бас-
сейне для отра-
ботанного
топливаПроверка и опечаты-
вание транспортиро-
вочного контейнера
перед отгрузкой и
проверка содержи-
мого на установке
получателя, если
это возможно

Цель обнаружения

Техническая цель гарантий Агентства в отношении энергетических реакторов с перегрузкой топлива на мощности состоит в обнаружении отсутствия ряда пучков отработанного топлива, содержащих 8 кг плутония, в пределах двух-трех месяцев, отсутствия свежего топлива, содержащего 75 кг урана-235, в течение одного года и отсутствия бустерных элементов, содержащих 25 кг урана-235, в пределах трех недель для необлученного топлива или в пределах двух-трех месяцев для облученных элементов.

Подход в отношении гарантий

Объем деятельности Агентства по гарантиям в отношении энергетических реакторов с перегрузкой топлива на мощности обычно колеблется в зависимости от конкретного типа реактора от 15 до 50 человеко-дней, если установлены соответствующие устройства сохранения и наблюдения. Агентство проводит на типичной установке с перегрузкой топлива на мощности около 6 инспекций в год.

Ниже перечислены конкретные виды деятельности по гарантиям на энергетических реакторах с перегрузкой топлива на мощности.

- Проверка материально-балансовых учетных документов и сравнение их с отчетами Агентства: материально-балансовые учетные документы проверяются для того, чтобы удостовериться, что они формально правильны (т.е. внутренне не противоречивы и правильны арифметически). Они также контролируются для проверки того, что информация, содержащаяся в них, полна и согласуется с информацией, содержащейся в отчетах, представленных Агентству. Эта деятельность имеет целью установить доверие к зарегистрированным инвентарным количествам материала, заявленным для установки, т.е. к количеству материала, подлежащему учету. "Отчеты" включают, например, отчеты об изменениях инвентарных количеств, материально-балансовые отчеты и перечни фактически наличных количеств материала.

- Определение уровней загрузки и выгрузки топлива: эта задача включает в себя разнообразные виды деятельности, которые все направлены на выявление распределения инвентарного количества в пределах установки. Материально-балансовые учетные документы сравниваются с эксплуатационными учетными документами. Учетные документы по топливу, загруженному в реактор, согласовываются с документами по выгруженному топливу. Физическая проверка склада свежего топлива, по крайней мере при каждом определении фактически наличного количества материала, обеспечивает защиту

от переключения свежего топлива и, что более важно, предоставляет возможность независимого определения количества учетных единиц, загруженных и впоследствии выгруженных, при допущении того, что не имеется необъявленных учетных единиц топлива. Пока еще не имеется полностью пригодных к эксплуатации счетчиков пучков свежего и облученного топлива, которые были бы полезны в качестве средства контроля числа учетных единиц, загруженных в реактор и выгруженных из него. Они были бы особенно желательны в качестве средства проверки числа учетных единиц, выгруженных в бассейн для отработанного топлива. Этот метод обеспечил бы независимую проверку соответствующих эксплуатационных учетных документов.

Количество плутония, образованного в учетных единицах топлива, выгруженных из активной зоны реактора, обычно сообщается после выгрузки. На основе изучения информации о конструкции и расчетов выгорания, сделанных оператором, в качестве проверки данных в учетных документах и отчетах рассчитывается количество образованного плутония. Иногда используется гамма-измерение на отработанном топливе в качестве средства классификации отработанного топлива по категориям в отношении потерь и производства ядерного материала.

На таких установках большое значение обычно придается мерам сохранения и наблюдения, хотя режим непрерывной перегрузки налагает внутренние ограничения на использование печатей в отношении учетных единиц топлива. Основные инспекционные усилия фокусируются на проверке передач отработанного топлива между зонами баланса материала и между установками путем организации сохранения в зоне реактора (возможно, только выходных маршрутов) и в зоне хранения отработанного топлива, возможно, с помощью камеры для наблюдения и счета числа выгруженных топливных элементов с помощью монитора выгрузки.

Если гарантиям на установке подлежит тяжелая вода, инспектор наблюдает за отчетами и расчетами оператора по инвентарному количеству тяжелой воды и может независимо проверить ее запас, взвешивая бочки и про-

вода произвольный отбор проб. Если реактор эксплуатируется, уже одно это обстоятельство обеспечивает гарантию того, что замедлителем является тяжелая вода.

Применяются следующие конкретные виды деятельности в связи с гарантиями в определенных местах размещения инвентарных количеств для энергетических реакторов с перегрузкой топлива на мощности.

Склад свежего топлива

Учитывая низкую стратегическую ценность природного урана, для проверки свежего топлива, находящегося на складе, считается достаточным определение фактически наличных количеств материала путем подсчета учетных единиц в продолжительные интервалы времени (например, один раз в год).

Фактически наличное количество материала должно проверяться ежегодно путем подсчета учетных единиц. Инвентарное количество на складе свежего топлива может составлять несколько тысяч элементов, так что может оказаться нецелесообразным подсчитывать все учетные единицы. Одной из практических процедур, используемых для проверки фактически наличного количества материала, является подсчет числа контейнеров для передачи топлива и проверка числа элементов в выбранных контейнерах. И наконец, счетчики пучков могут использоваться в точке, в которой свежие топливные элементы поступают в механизм окончательной загрузки.

Бустерные стержни, если они используются, должны обычно проверяться индивидуально.

Активная зона реактора

Помимо проверки эксплуатационных учетных документов для топлива, загруженного в активную зону реактора и выгруженного из нее, и дополнительно к такой проверке, обычная деятельность по проверке ограничивается проверкой мер по сохранению и наблюдению.

Склад отработанного топлива

Фактически наличное количество материала должно проверяться путем подсчета учетных единиц ежегодно во время определения фактически наличного количества материала. Инвентарное количество на складе отработанного топлива предположительно составляет несколько десятков тысяч топливных элементов или пучков. Определение фактически наличного количества материала на складе отработанного топлива реактора с перегрузкой на мощности усложняется таким большим числом учетных единиц и тем обстоятельством, что отработанное топливо хранится таким образом, что некоторые пучки заслоняют другие, а в ряде случаев и плохой видимостью вследствие непрозрачности воды в бассейне. Более того, трудно количественно определить, какой материал находится в хранящихся сборках отработанного топлива. С целью исключения этих трудностей осуществление гарантий в отношении склада отработанного топлива на этих установках возлагается в основном на системы оптического наблюдения, которые должны обеспечить отсутствие несообщенных изменений инвентарных количеств. В случае, когда отработанное топливо будет храниться в течение длительного времени, инспектора будут шире использовать процедуру опечатывания контейнеров, содержащих большое число пучков отработанного топлива.

Полный подсчет учетных единиц в бассейне для хранения осуществляется:

- после каждой отгрузки в тех случаях, когда не было проверено число отгруженных учетных единиц;
- в случаях, когда меры сохранения и наблюдения не позволили обеспечить достаточной гарантии отсутствия переключения;
- в момент проверки начального инвентарного количества эксплуатируемой установки.

В случае, если отработанное топливо передается из бассейна выдержки отработанного топлива для долгосрочного хранения во вспомогательном бассейне или

в контейнерах, то во время такой передачи топлива может быть применена непрерывная инспекция. Проверенное и отработанное топливо хранится обычно в клетках и опечатывается.

Отгрузка

При проведении отгрузок отработанного топлива (например, на склад долгосрочного хранения) требуются специальные меры. В момент их осуществления должен присутствовать инспектор. В таких случаях инспектор опечатывает бочки. При частых отгрузках отработанного топлива нормальные процедуры заключаются в использовании камер для наблюдений через фиксированные интервалы, настроенных таким образом, что они фотографируют каждую бочку, покидающую здание. Можно рассчитать число отгруженных топливных элементов, предполагая, что все бочки полны или что они содержат число сборок, заявленное оператором, однако это следует рассматривать только лишь как подтверждающее доказательство. Основная проверка происходит при приемке на получающей установке.

УСТАНОВКИ ПО ОБРАЩЕНИЮ С МАТЕРИАЛАМИ В БАЛК-ФОРМЕ

Установки по обращению с материалами в балк-форме, особенно установки по переработке, и заводы по конверсии и изготовлению топлива, содержащего высокообогащенный уран или плутоний, представляют собой стадии топливного цикла, содержащие материал, из которого легче всего может быть изготовлено ядерное оружие или другие ядерные взрывные устройства. В случае стран - участниц Договора о нераспространении Агентство в соответствии с подпунктом "с" пункта 6 документа INFCIRC/153 осуществляет значительную часть всей своей инспекционной деятельности на таких установках в странах, где такие установки существуют и поставлены под гарантии. (Подпункт "с" пункта 6 гласит, что Агентство должно концентрировать свои "... процедуры проверки на тех стадиях ядерного топ-

ливного цикла, которые связаны с производством, обработкой, использованием и хранением ядерного материала, из которого можно легко произвести ядерное оружие или другие ядерные устройства...").

В последнее время Агентство начинает ставить под гарантии большие и сложные установки (то есть большие относительно уже поставленных под гарантии) по обращению с материалами высокой стратегической ценности, что происходит либо вследствие вступления в силу новых соглашений о гарантиях, либо в результате пуска новых установок. Установки по обращению с материалами в балк-форме, в отношении которых Агентство имеет значительный опыт в связи с гарантиями, представляют собой конверсионные заводы и заводы по изготовлению топлива.

Гарантии Агентства в отношении установок по обращению с материалами в балк-форме основаны на определении и проверке фактически наличных количеств материала два раза в год на установках, которые преобразуют и изготавливают низкообогащенный уран, и четыре раза в год на установках, которые перерабатывают высокообогащенный уран или плутоний, если не установлен оператором и проверен Агентством высокоэффективный и точный контроль потока. В последнем случае определение и проверка фактически наличного количества материала производится по крайней мере два раза в год.

КОНВЕРСИОННЫЕ ЗАВОДЫ И ЗАВОДЫ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ТОПЛИВА

Особенности, имеющие отношение к гарантиям

"Конверсия" в ядерном топливном цикле может относиться к любой из нескольких операций химической конверсии. В том виде, как он используется в данном документе, этот термин относится к операциям, непосредственно предшествующим изготовлению топлива, то есть к конверсии UF_6 в UO_2 при подготовке к изготовлению топлива. Иногда операции химической конверсии этого типа осуществляются на той же установке,

на которой изготавливается топливо. Восстановление скрапа может осуществляться на той же самой площадке или скрап может накапливаться и отгружаться куда-либо партиями. Если конверсия и изготовление осуществляется на одной и той же установке, технологическая деятельность обычно подразделяется на две или более технологических зоны баланса материала: одну для конверсий и одну или более для обработки скрапа. Если отдельные установки не осуществляют конверсию, считается, что для каждой технологической линии имеется лишь одна технологическая зона баланса материала. Для целей данного документа предполагается, что рассматриваемая установка включает конверсию, изготовление и переработку скрапа.

В дополнение к технологической зоне или технологическим зонам баланса материала обычно существует зона баланса при хранении исходных материалов, в которой устанавливается расхождение данных отправителя и получателя и зона баланса материала при хранении готовой продукции, в которой ведется подсчет учетных единиц для топливных сборок, ожидающих отгрузки.

Ключевые точки измерения определяются для измерения всех получаемых исходных материалов, для измерения топливных элементов или сборок перед отгрузкой и для измерения выбрасываемых отходов. Ключевые точки измерения также устанавливаются для передачи промежуточных материалов между зонами баланса материала. Если скрап отгружается с площадки для регенерации, его измерение требует ключевой точки измерения. Существуют также ключевые точки измерения инвентарных количеств, определенные на установке.

Конверсионные установки и установки по изготовлению топлива представляют собой этапы топливного цикла, на которых ядерный материал преобразуется в дискретные, идентифицированные учетные единицы. Можно упростить проверку учетных единиц ядерного материала, используя идентификацию и подсчет учетных единиц, дополняемые соответствующими проверками целостности контейнеров и печатей МАГАТЭ. Однако инвентарное количество материала на установке может превышать сотни тонн в

разных формах, включая такие формы, как чистый порошок, сборки, стержни, неспеченные таблетки, спеченные таблетки, отбракованные материалы, ожидающие повторного использования, и скраповый материал в разнообразных неоднородных формах. В дополнение к этой особенности на заводах, изготавливающих топливо из природного и низкообогащенного урана, необходимы лишь ограниченные меры предосторожности с точки зрения токсичности и критичности при обращении с материалом. Поэтому всегда и на всех этапах существует возможность переключения материала просто путем прямого изъятия со склада или в ходе технологического процесса. Обычно конверсионные установки и установки по изготовлению топлива останавливаются от одного до четырех раз в год для определения фактически наличного количества материала (в зависимости от типа завода и, в случае заводов, перерабатывающих низкообогащенный уран, количества перерабатываемого материала). Производство обычно останавливается приблизительно на три дня в зависимости от типа и размера завода. Весь имеющийся материал метится и составляется перечень для проверки Агентством этого материала.

Возможности переключения

Ниже приведены примеры возможностей переключения, возможных методов сокрытия и соответствующих мер противодействия в связи с гарантиями.

Возможности переключения	Методы сокрытия	Меры по гарантиям
Изъятие природного или обогащенного урана в балк-форме	Отказ от регистрации полученных	Сравнение отчетов
	Занижение полученного количества	Взвешивание, выборка и анализ произвольно выбранного контейнера из поступившей партии

Возможности переключения	Методы сокрытия	Меры по гарантиям
	Завышение не- определенности измерений	Анализ разности "отправитель/по- лучатель" Независимые из- мерения
	Замена природ- ным или обед- ненным ураном (для обогащен- ного урана)	Печати Измерения мето- дом НРА
	Заимствование с других уста- новок	Одновременные инспекции
	Изготовление полых таблеток или таблеток за- ниженной плот- ности	Проверка табле- ток
Изъятие топлив- ных сборок	Замена имита- торами	Печати НРА
	Предоставление фиктивных дан- ных об отгрузке	Проверка по по- лучению на реак- торе
		Тщательная про- верка учетных документов и под- счет учетных еди- ниц
	Заимствование с других пло- щадок	Одновременная инспекция

Возможности переключения	Методы сокрытия	Меры по гарантиям
Переключение таблеток скрапа	Предоставление фиктивных дан- ных об отгруз- ках и завышение отгруженных ко- личеств (в слу- чае отдельного завода по ре- генерации)	Тщательная про- верка учетных документов и про- верка на площад- ке завода по ре- генерации топли- ва
	Завышение не- определенности измерений	
		Завышение по- терь в ходе технологиче- ского процесса

Цель обнаружения

Целью гарантий на установках по изготовлению топ-лива является обнаружение с достоверностью 95% про-должительного переключения любого или всех типов ядерного материала с минимальным объемом одно зна-чимое количество материала в год. В дополнение к этому целью гарантий на установках, перерабатывающих плутоний, высокообогащенный уран и уран-233 и содер-жащих более одного значимого количества любого из указанных материалов, является обнаружение с высокой степенью достоверности разовых переключений значимых количеств специального расщепляющегося материала в течение периода от одной до трех недель.

Подход в отношении гарантий

Для целей обсуждения гарантий Агентства в связи с конверсионными заводами и заводами по изготовлению

топлива эти заводы могут быть разделены на две группы: заводы, осуществляющие обращение только с обедненным, природным и(или) низкообогащенным ураном, и заводы, осуществляющие обращение с плутонием, высокообогащенным ураном и ураном-233.

Учет ядерных материалов определяется как фундаментальный механизм гарантий МАГАТЭ, в то время как хранение и наблюдение представляют собой важные дополнительные меры. Однако меры по сохранению и наблюдению имеют ограниченную практическую применимость на конверсионных заводах и заводах по изготовлению топлива, и инспектор Агентства должен полагаться на учет материалов, сосредоточивая внимание на тщательной проверке данных оператора в отношении количеств полученного, отгруженного, хранящегося или утерянного материала и на свои собственные наблюдения.

Установки, перерабатывающие только обедненный, природный и (или) низкообогащенный уран

Основная концепция, лежащая в основе гарантий Агентства в связи с конверсионными установками и установками по изготовлению топлива промышленного масштаба, на которых обрабатывается обедненный, природный и(или) низкообогащенный уран, предусматривает проверку баланса материала при широком использовании произвольного отбора проб. В частности, применяются следующие подходы и меры Агентства в связи с этими установками.

● В зависимости от инвентарного количества материала на заводе и(или) производительности завода Агентство обычно проводит в течение года десять или более инспекций, две из которых имеют целью проверку фактически наличного количества материала, объявленного оператором. Трудозатраты на проведение этих инспекций составляют приблизительно от 50 до 70 человеко-дней, и проведение этих инспекций планируется в течение периода подведения баланса материала. Реальное число посещений находится в соответствии с планом проверок,

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ — КНИГА 22, НОМЕР 3/4

составленным на основе проектного потока материала в течение кампании, т.е. между инвентаризациями (см. ниже) .

● Проверка материально-балансовых учетных документов и сравнение их с отчетами Агентства с целью определения зарегистрированного количества материала на установке. В отчетные документы входят отчеты об изменениях инвентарных количеств, отчеты о балансе материала и перечни фактически наличных количеств материала для установок, поставленных под гарантии в рамках соглашений в связи с Договором о нераспространении, и отчеты о балансе материалов и совместные сообщения для установок, поставленных под гарантии в рамках соглашений в связи с документом INFCIRC/66/Rev.2. Все обычные инспекции включают в себя изучение учетных документов и сравнение учетных документов и отчетов.

● Определение потоков материала на входе установки через нее и на выходе установки. Проверка потоков состоит из измерения и наблюдения во время периодических инспекций. Получения на установке проверяются путем произвольного выбора контейнеров с материалом. Проверка потоков включает, насколько это возможно, прослеживание прохождения каждой сборки к реактору и заключение на установку по переработке топлива. Эта процедура может потребовать планирования одновременных инспекций на реакторах и заводах по изготовлению топлива с целью учета всех сборок. (В настоящее время деятельность по проверке потоков сохраняется на минимальном уровне на установках по конверсии природного урана и по изготовлению топливных элементов из природного урана, с тем чтобы дать возможность сконцентрировать ресурсы Секретариата на материалах, имеющих более высокую стратегическую ценность) .

● Определение инвентарного количества ядерного материала. Общий подход заключается в проверке общей совокупности учетных единиц, идентифицированных оператором, путем проверки учетных документов и подсче-

та учетных единиц с последующей проверкой количеств, заявленных оператором, с помощью произвольной выборки с целью достижения приемлемого уровня достоверности того, что не произошло переключения значимого количества материала. Таким образом, инспектор проверяет заявленное оператором фактически наличное количество материала, что представляет собой важную часть общей проверки баланса материала и предоставляет дополнительные доказательства количества неучтенного материала, объявленного оператором. Как отмечено, инспектора Агентства осуществляют проверку учетных документов, подсчет учетных единиц и проверку количества в соответствии с планом произвольной выборки, используя проверки веса контейнеров и методы проверки по характерным параметрам и переменным. В частности, например, выгруженные топливные стержни контролируются с целью проверки того, что все таблетки находятся на месте и что нет отклонений от заявленных количеств. Готовые топливные сборки подсчитываются и идентифицируются по учетным документам оператора. Испытания по характерным параметрам осуществляются на цилиндрах с UF_6 (или другим исходным материалом), на порошке, бочках, таблетках, стержнях, сборках и скрапе с использованием соответствующих методов неразрушающего анализа, таких, как гамма-спектрометрия, в то время как испытания по переменным осуществляются на произвольной выборке порошка, таблеток и скрапа. Измерения на топливных сборках особенно критичны для целей гарантий, поскольку сборки представляют собой стадию конечного продукта на заводе по изготовлению топлива и обычно остаются нетронутыми в течение ряда лет. Измерение часто затруднено из-за того, что внутренние стержни прочно закреплены и не могут быть легко извлечены. Кроме того, имеющаяся в настоящее время контрольно-измерительная аппаратура не обеспечивает достаточно точных количественных измерений урана в сборках для легководных реакторов. Сборки обычно представляют собой область наибольшей неопределенности проверки на конверсионном заводе и заводе по изготовлению топлива. Единственным способом исключения этой неопределенности могла бы быть

непрерывная инспекция. Стержни могут непосредственно и точно измеряться Агентством на стенде для заполнения стержней, и непрерывное наблюдение с этого места до стадии готового продукта позволило бы Агентству получить точную картину в отношении содержимого сборок. Материал, ожидающий захоронения, точно так же как материал, ожидающий регенерации, накапливается в бочках. Специфический подход к проверке этого материала заключается в изучении документов с целью установления количеств, заявленных для захоронения, с использованием выборки и взвешивания или неразрушающего анализа для проверки заявлений оператора в отношении количества и качества материала.

Печати обычно используются как часть проверки фактически наличного количества материала с целью обеспечения того, что все учетные единицы инвентаризованы без дублирования, и для обеспечения целостности образцов, взятых для анализа. Если часть инвентарного количества, особенно отходов и регенерируемого скрапа, хранится в течение продолжительных периодов времени на установке, то производятся измерения, отбор проб и опечатывание.

Установки, перерабатывающие плутоний, высокообогащенный уран или уран-233

Установки по изготовлению топлива, перерабатывающие плутоний, высокообогащенный уран или уран-233, в зависимости от их размеров, требуют применения дополнительных мер в связи с гарантиями для того, чтобы реализовать упомянутые выше возможности малого времени обнаружения*. Установка по изготовлению плутониевого смешанного окисного топлива может содержать несколько сот килограммов плутония.

Один из подходов в связи с гарантиями, рассматриваемый Агентством на таких заводах, основан на непрерывных или частых периодических инспекциях и включает в себя получение достаточной уверенности в том, что опе-

* См. "Цель обнаружения", стр. 38.

ратор осуществляет надлежащий контроль потоков, причем этот подход имеет целью повысить значимость учета ядерных материалов как механизма существенной важности. Кроме того, поскольку может оказаться практически нецелесообразным, чтобы при проверках с интервалами, обеспечивающими малое время обнаружения, оператор предоставлял для проверки весь плутоний, высокообогащенный уран или уран-233, может оказаться необходимым доступ в конкретных точках ко всем таким материалам в любое время, включая зоны технологического процесса, а также доступ к соответствующим данным оператора. Работа по сбору и анализу данных, проводимая инспекторами Агентства, связана с эксплуатационными процедурами, определенными оператором установки с целью достижения требуемой возможности обнаружения и минимальной степени вмешательства в нормальную работу установки.

Особенности данного подхода к проверке контроля потоков следующие.

- Расположение и количества всех ядерных материалов, установленные путем проверки полного фактически наличного количества материала, выполняемой раз в полгода, служат исходными точками для прослеживания потока материала в установке в течение периода эксплуатации между последовательными инвентаризациями.
 - Используя в качестве основы эти исходные точки, устанавливаются процедуры полной проверки всех поступлений перед переработкой и всех отгрузок перед отправлением, а также для повторной проверки всех складов по крайней мере один раз в течение каждого последовательного периода малого времени обнаружения. (Точный период определяется практикой эксплуатации).
 - Для обеспечения быстрой периодической повторной проверки исходных материалов, находящихся в технологическом процессе, и готовых изделий как можно шире применяются печати.
 - Отдельные учетные документы могут вестись инспекторами Агентства, следящими за прохождением матери-
- БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ — КНИГА 22, НОМЕР 3/4

алов через каждую отдельную стадию технологического процесса. Эти учетные документы составляются на основе операторских учетных документов по контролю продукции и по возможности проверяются вместе с операторами-технологами.

- По крайней мере один раз в каждый период инспектора Агентства проверяют, насколько это возможно, инвентарное количество материала, находящегося в технологическом процессе. Например, они могут начать с первого этапа технологического процесса и пройти этап за этапом технологическую зону баланса материалов. Инспектора приходят на каждый этап со скорректированным перечнем количества материала, который должен иметься на данном этапе, и пытаются проверить это находящееся в технологическом процессе инвентарное количество материала, не прерывая ход технологического процесса. По возможности этот график составляют таким образом, чтобы он соответствовал разрывам хода технологического процесса на каждом этапе.

- Проверка в ходе технологического процесса включает в себя визуальное наблюдение с целью подсчета всех контейнеров с материалом в пределах каждой рабочей зоны и в технологическом оборудовании и оценки вероятного количества материала, имеющегося на каждом этапе. Инспектор наблюдает и регистрирует любые весовые измерения или другие характеристики материала, присутствующего на этом этапе. Он пытается проверить количество ядерного материала, содержащегося в учетных единицах, передаваемых с каждого этапа, особенно если учетная единица должна быть передана в другую зону баланса материала. И наконец, он может выполнить радиометрические измерения в выбранных местах, с тем чтобы установить структуру количеств материала и распределения, возникающие в ходе нормальных операций. Информация, полученная с учетом этих показаний, используется для определения калибровки. Иными словами, серия показаний, снятых за один период, может сравниваться с количеством, планируемым к расположению в зоне, просматриваемой коллимированными приборами для обзора в этот период, и впо-

следствии сравниваться с количеством материала, обрабатываемого или регенерируемого в этой зоне в зависимости от конкретной ситуации.

- Во время такой проверки в ходе технологического процесса образцы получают как часть текущей проверки с помощью процедур обнаружения отклонений. Когда появляются результаты анализа этих образцов, они при необходимости используются для коррекции калибровки приборов неразрушающего анализа Агентства.

- По завершении каждого периода инспектор кратко излагает свои заключения для этого периода, исследует любые замеченные проблемы и на основе предварительной информации делает вывод о текущем состоянии установки. На основе этой информации и проведенных им наблюдений хода технологического процесса инспектор делает заключение о том, могло ли произойти в течение рассматриваемого периода какое-либо переключение. Он стремится сделать заключение о том, что существует приемлемо малая вероятность того, что одно значимое количество плутония, высокообогащенного урана или урана-233 могло быть переключено с установки в течение рассматриваемого периода без обнаружения.

ЗАВОДЫ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТОПЛИВА

Агентство располагает ограниченным опытом применения гарантий к заводам по переработке топлива. Хотя оно уже имело возможность в пробном порядке применить гарантии на нескольких заводах США, Бельгии и Италии, регулярное применение гарантий к непрерывно работающим установкам стало осуществляться лишь начиная с мая 1977 года. Процедуры, упомянутые в начале данного раздела, рассчитаны на небольшие и средние заводы (т.е. с годовой производительностью до 300 тонн топлива), с которыми Агентство имеет дело в настоящее время. Эти процедуры все еще находятся на стадии подготовки и, как можно ожидать, будут отрабатываться по мере накопления опыта. Ожидается,

что в течение нескольких последующих лет Агентство не столкнется с необходимостью постановки под гарантии крупномасштабных промышленных установок. Тем не менее Агентство располагает предварительными оценками в отношении эффективных подходов по применению гарантий на таких заводах, и эти оценки кратко рассматриваются в отдельном разделе*.

Единственным процессом переработки топлива, используемым в настоящее время в промышленных масштабах, является процесс "Пурекс". Поэтому в данном разделе речь идет только об этом одном процессе.

Особенности, имеющие отношение к гарантиям

Заводы по переработке топлива имеют весьма большую важность с точки зрения гарантий, поскольку они вырабатывают материал - очищенный плутоний, который может быть использован для изготовления ядерных взрывных веществ с минимальной дополнительной переработкой в течение короткого периода времени. Завод, обрабатывающий ежегодно 300 т отработанного топлива, отделяет приблизительно от 2 до 3 тонн плутония в год.

Заводы по переработке топлива ставят уникальную проблему в отношении гарантий, так как в отличие от всех других заводов их входной поток определяется лишь собственно анализом на входе, поскольку состав облученных топливных стержней в момент получения известен лишь из реакторных расчетов. Кроме того, существует значительная трудность, возникающая вследствие того обстоятельства, что завод по переработке топлива является сложным по своему характеру и большая часть его оборудования недоступна во время его работы. Поскольку на заводе имеют дело с высокооблученным топливом, первые стадии работ должны выпол-

* В настоящее время Агентство применяет гарантии на пяти заводах по переработке топлива.

няться из-за защиты, которая обычно представляет собой бетонные стены. Измерительные сосуды также скрытаны от визуального наблюдения, в результате чего прямое наблюдение невозможно. Эти особенности предоставляют лицу, желающему переключить ядерный материал, много возможностей для сокрытия переключения, осуществленного либо на заводе по переработке топлива, либо на более раннем этапе топливного цикла.

Существуют и другие сложности. Заводы по переработке топлива обычно работают посменно 24 часа в сутки 7 дней в неделю в течение продолжительного времени, в результате чего потоки ядерного материала носят непрерывный характер. Более того, определить реальное поступление плутония в зону технологического процесса можно только с помощью отбора проб из сосудов, предназначенных для учета материала, что означает, что при каждой передаче ядерного материала должны присутствовать инспектора МАГАТЭ для проверки измерений, проводимых оператором. Учитывая сложный характер заводов по переработке топлива и количество чувствительного материала на них, Агентство сделало вывод о том, что необходима непрерывная инспекция. Кроме того, должны удовлетворяться следующие общие условия:

- все сосуды, предназначенные для учета материала, должны быть тщательно калиброваны;
- должны браться надежные пробы на входе, выходе и во всех потоках, покидающих завод;
- должны производиться частые оценки количества имеющегося материала;
- на выходную продукцию должны ставиться легко контролируемые печати или за ними должно вестись непрерывное наблюдение.

Для целей гарантий в установках по переработке топлива обычно выделяются три зоны баланса материалов, включающие любые зоны, которые могут использоваться для последующей конверсии продукции. Они включают

в себя, во-первых, зону хранения исходных продуктов, куда поступают топливные сборки, где они хранятся и откуда они передаются для технологической переработки. Нормальное инвентарное количество в зоне хранения исходных материалов состоит из непереработанных топливныхборок, ожидающих регенерации. В зоне хранения топлива поступление ядерного материала регистрируется на основе данных грузоотправителя (т.е. упомянутых выше расчетных данных, получаемых на основе данных эксплуатации реактора), а количества, поступающие в технологический процесс, основаны на данных входного анализа. Разность данных грузоотправителя и получателя является следствием вычитания указанных данных получателя (скорректированных с учетом остатков, оболочек и т.п.) из соответствующих данных грузоотправителя.

Вторая зона баланса материалов представляет собой технологическую зону, в которой находится измеренный раствор аппарата - растворителя для разделения трех основных компонентов - плутония, урана и продуктов деления. Готовый продукт, особенно плутоний, может быть направлен обратно в технологическую зону для повторной обработки и дополнительной очистки. Граница между первой и второй зонами баланса материалов должна быть установлена таким образом, что единственными изменениями инвентарных количеств, которые могут обычно происходить в первой зоне баланса материалов, являются отправки и получения материала. Разность данных отправителя и получателя проявится как измеренная разность между данными при получении (значение отправителя) и отправлении (передач во вторую зону баланса материалов).

Третья зона баланса материалов представляет собой зону хранения продукции. Поступления в третью зону баланса материалов и отправления из нее регистрируются и вносятся в отчеты на основе измерений, проведенных на входе зоны хранения продукции. Таким образом, поступления в технологическую зону баланса материалов и отправления из нее измеряются лишь однажды. Это исключает возможность различий данных отправителя и

получателя по этой зоне баланса материалов; единственным уточнением инвентарного количества, которое может быть осуществлено в ней, является неучтенный материал, в случае если осуществляются операции смешения. Работа в зоне хранения обычно осуществляется одним из двух способов. На некоторых установках контейнеры с готовым материалом хранятся в ожидании отгрузки. В этом случае проводится, как правило, лишь только одно измерение, а отгрузки осуществляются по измеренным значениям, полученным, когда материал был помещен на склад. На других установках могут использоваться баки для хранения, так что иногда после смешения может потребоваться второй цикл измерений при отправке. Можно также использовать комбинированный подход, когда один материал, обычно плутоний, после производства помещается в контейнеры для отгрузки, а другой собирается в баки. Установка по переработке топлива может также преобразовывать готовую урановую продукцию в другие формы, такие, как UF_6 , чтобы вернуть его для рецикла на обогатительный завод, или готовая продукция плутония в форме PuO_2 , чтобы изготовить из него топливо. Такие операции обычно рассматриваются как отдельные зоны баланса материалов, и по отношению к ним используются такие инспекционные процедуры, как если бы они были отдельными установками.

Возможности переключения

В следующей ниже таблице перечислены примеры возможных видов деятельности по переключению, подразделенные на шесть зон установки по переработке топлива, в которых они могут быть осуществлены. Эти возможности различаются от простого случая непосредственного изъятия материала, например плутония со склада, до наиболее искусного случая переключения или изъятия части технологического потока через одну из многочисленных труб, составляющих часть установки. За исключением случая комплектных сборок эти виды деятельности могут осуществляться как разовое или непрерывное переключение.

Цель обнаружения

МАГАТЭ допускает возможность использования стратегий разового и продолжительного переключения на заводах по переработке топлива. Что касается продолжительного переключения, то цель гарантий Агентства состоит в обнаружении переключения с вероятностью 95% одного значимого количества ядерного материала в год. В отношении разового переключения цель гарантий состоит в обнаружении с высокой степенью вероятности разового переключения значимых количеств специального расщепляющегося материала в течение периода от одной до трех недель.

Подход в отношении гарантий

Агентство осуществляет на заводах по переработке топлива непрерывную инспекцию. Реальная трудоемкость инспекций на заводе по переработке топлива составляет не менее 900 человеко-дней в год (т.е. 3 человеко-дня в день) в зависимости от инвентарного количества и производительности завода. Однако для целого ряда видов деятельности работа в течение отведенного времени распределяется неравномерно. При оптимальном графике инспектора, находящиеся недалеко от завода, должны вызываться для конкретных видов деятельности по проверке, такой, как измерения объема на входе за один-два часа до того момента, как оператор готов к проведению измерения. Во время дневной смены инспекторов вызывают из их служебного помещения на заводе. Во время ночных смен их вызывают из расположенного поблизости места проживания. Они также сохраняют право появиться в любой момент с целью проверки в согласованных стратегических точках.

Возможности переключения

Методы сокрытия

Методы гарантий

Передача на участок измельчения и выщелачивания и обработка на нем

Незарегистрированная передача сборок для измельчения и выщелачивания.

Подделка учетных документов о количестве переданных и растворенных сборок.

Наблюдение с целью получить независимое подтверждение передачи.

Изъятие сборки при передаче (зарегистрирована, но реально не получена для измельчения и выщелачивания).

Подделка учетных документов.

Подсчет и идентификация топливных сборок, поступающих на измельчение и выщелачивание.

Изъятие измельченных частей из растворителя.

Не полностью растворенные плутоний и уран (для последующего незарегистрированного растворения).

Подделка учетных документов о плутонии и уране, содержащихся в оболочках.

Проверка с помощью НРА или путем отбора проб и анализа содержания плутония и урана в оболочках.

Присутствие во время извлечения оболочек из сосуда для выщелачивания и проверка передачи на склад.

Жидкость из растворителя проводится мимо бака, предназначенного для учета.

Бак для учета на входе

Незарегистрированная передача из бака для учета в технологический процесс.

Неточное заявление об объеме (весе) или концентрации плутония и урана при передачах в зону технологического процесса.

Неточная калибровка.

Искажение показаний измерительной системы завода (измерительной трубки/манометра или системы взвешивания)

Использование метода сохранения и наблюдения для обнаружения переключения материала, поступающего, минуя бак для учета, на этап технологической переработки.

Наблюдение с целью получить независимое подтверждение всех передач.

Проверка калибровки приборов, предназначенных для объемного (весового) измерения.

Проверка измерений объема (веса), температуры и плотности.

Искажение аналитических результатов путем использования непредставительного образца или в ходе самого анализа.

Завышение неопределенности измерения в информации о конструкции или введение дополнительных ошибок в зарегистрированное измерение с целью сокрыть переклечение в неучтенном количестве.

Повторная обработка кислоты (или других добавок), содержащей необъявленный уран и(или) плутоний.

Присутствие при гомогенизации раствора и отборе проб.

Проверка анализа и однородности образцов.

Получение образцов для независимого анализа с целью обнаружить отклонения и оценить неопределенности измерений.

Получение образцов повторно переработанной кислоты для независимого анализа.

Технологическая зона

Изъятие растворов через трубопроводы, которые не составляют часть нормального объявленного технологического потока.

Подделка учетных документов о содержании плутония и урана в различных отходах, включая сохраняемые на площадке, отгружаемые и выбрасываемые отходы.

Проверка выброса или передачи потока отходов, включая объемные измерения.

Придумывание случайных потерь и искажение учетных документов о случайных потерях плутония и урана (например, утечках или сбросах стока) .

Искажение учетных документов об остатках плутония и урана в технологических сосудах в момент проведения физической инвентаризации .

Получение образцов или отходов для независимого анализа .

Получение экземпляров последовательности технологических операций на заводе в случае возникновения таких ненормальных положений, как аварийные потери, контрольное осуществление этих операций и, в случае необходимости, проведение независимых измерений соответствующих количеств плутония и урана .

Присутствие во время операций очистки и проверка того, что выполняются установленные процедуры очистки. В случае обнаружения значительных остатков, проведение независимых измерений соответствующих количеств плутония и урана .

Бак для учета на выходе

Незарегистрированные передачи готовой продукции из выходных баков, предназначенных для учета, и передачи, осуществляемые помимо этих баков.

Неточные заявления об объеме (весе) или о концентрации P_u или U при передачах из технологической зоны.

Неточная калибровка.

Неправильная регулировка измерительной системы на заводе (измерительная трубка/манометр или система взвешивания).

Подделка аналитических результатов путем использования непредставительного образца либо в ходе самого анализа.

Наблюдение для получения независимых подтверждений всех передач.

Проверка калибровки приборов для объемного (весового) измерения.

Проверка измерений объема (веса), температуры и плотности.

Присутствие, когда гомогенизируется раствор и берутся пробы.

Проверка анализа и гомогенности образцов.

Завышение неопределенности измерения в информации о конструкции или введение дополнительных ошибок в зарегистрированное измерение с целью сокрытия переключения в неучтенном материале.

Получение образцов для независимого анализа с целью обнаружить отклонения и оценить неопределенности измерений.

Повторная переработка кислоты (или других добавок) , содержащей необъявленный уран и(или) плутоний.

Получение образцов повторно переработанной кислоты для независимого анализа.

Зона хранения продукции

Незарегистрированные или неправильно зарегистрированные отгрузки Pu и U.

Искажение отгрузочных документов.

Проверка отгрузочных документов и учетных документов.

Подделка документов учета инвентарных количеств, включая введение фиктивных учетных единиц, многократную регистрацию учетной единицы, перемещение учетных единиц и измерение их маркировки с целью вызвать многократный подсчет со стороны МАГАТЭ.

В момент проверки измерения наложение печатей на весь ядерный материал, хранимый в опечатываемых контейнерах, при всех отгрузках.

Проведение во время проверки инвентарных количеств подсчета учетных единиц (проверка меток) для всех учетных единиц, занесенных в инвентарный перечень.

Если материал измеряется в момент отправки, то же самое, что для бака учета на входе.

То же самое, что для бака учета на входе.

Ниже следует общий перечень видов деятельности по гарантиям, которые, по-видимому, будут осуществляться в настоящее время Агентством на типичном заводе по переработке топлива.

- Будут подготовлены заранее регистрационные книги для ведения инспекторами текущих записей важнейших в отношении гарантий параметров, таких, как поступление, остатки, выходная продукция, промежуточно хранимое количество материала и т.д. Такие учетные документы будут представлять собой своего рода анализ текущего неучтенного количества, на основе которого можно бы сделать предварительные выводы о гарантиях. В рамках соглашений о гарантиях в связи с Договором о нераспространении в Центральных учреждениях будет готовиться окончательное формальное заключение в виде заявления, периодичность выпуска которого будет определяться реальным графиком работы завода.

- Поток облученного топлива на пути от реактора до аппарата-растворителя на заводе по переработке топлива должен контролироваться, с тем чтобы обеспечить полноту его охвата. Буферный склад облученного топлива на реакторной установке обычно находится под наблюдением фотографических или телевизионных камер, которые необходимо отрегулировать на обнаружение любого перемещения контейнера с топливом с высокой вероятностью - обычно 100%. Если транспортировка контейнеров с топливом осуществляется нечасто, каждую транспортировку следует контролировать с помощью опечатывания контейнера; однако сильно облученные топливные сборки легководных реакторов могут транспортироваться только в весьма небольших количествах в каждом контейнере; соответственно количество транспортировок настолько велико, что часто трудно проводить опечатывание всех контейнеров. В таких случаях контроль потока должен быть обеспечен путем согласования проведения промежуточных инвентаризаций в бассейне для отработанного топлива реактора с соответствующими инвентаризациями в приемном бассейне завода по переработке топлива. В большинстве случа-

ев должно быть достаточно использования визуальной идентификации путем считывания номеров на сборках. Дополнительная "дефектоскопия" путем фотографирования пластинок с номерами и сварных швов должна применяться тогда, когда только идентификация по номерам будет затруднительной и(или) даст повод к сомнениям. Для ряда видов топлива можно также осуществлять проверку истории облучения на основе плана взятия проб, применив для этого гамма-измерения. Перед измельчением и загрузкой в аппарат для растворения должна быть проведена полная идентификация происхождения топлива.

● Передача материалов через границу между первой и второй зонами баланса материалов подвергается 100-процентной проверке. Эта точка представляет собой первую и единственную точку в топливном цикле, в которой может быть независимым образом определено количество произведенного плутония. Исходные данные для установления количества плутония подготавливаются оператором завода с разбивкой на две в равной степени важные группы:

- 1) данные, связанные с определением объема;
- 2) данные, связанные с определением концентрации плутония и изотопных соотношений, а также соотношения количеств плутония и урана.

Для исходных данных, связанных с объемом, необходимо установить программу контроля качества и проверок каждой отдельной переменной, такой, как температура, длина колонны манометра, удельный вес жидкости манометра. Для исходных данных, касающихся концентрации, необходимо готовить отбор проб с предварительным добавлением свежего топлива или без него. В данной конкретной области можно ожидать усовершенствований в результате новых технических разработок, однако в настоящее время могут приниматься во внимание и должны быть подробно изучены лишь упомянутые выше классические методы.

● Что касается тарировки сосудов, т.е. зависимости объема от уровня жидкости (предполагая, что удельная

жидкость в аппарате для растворения установлена в связи с определением концентрации), необходимо тщательно статистически проанализировать серию результатов тарировки, для того чтобы определить случайную и систематическую компоненты неопределенности. Тарировочные данные для каждого сосуда должны быть тщательно изучены в смысле возможных эффектов, таких, как тепловое искажение формы сосуда. Тарировка входного сосуда для учета материалов также важна для количественного определения плутония, как, например, для анализа концентрации плутония в образцах раствора аппарата для растворения. Поэтому она должна быть полностью проверена, включая тарировки баков.

● Установленное входное количество плутония для технологической зоны баланса материалов необходимо проверить относительно количества плутония, произведенного, согласно расчетам, в реакторе (реакторах). Разность данных отправителя и получателя, установленная на основе сообщенного производства плутония и обычных расчетов с помощью ЭВМ выгорания на атомных электростанциях, может оказаться связанной со значительной неопределенностью. Однако эти неточности в меньшей степени сказываются на содержании урана, а неточности для плутония могут быть снижены путем использования метода соотношения плутония и урана и других изотопных корреляций, таких, как коэффициент обеднения урана-235, соотношение расщепляющихся изотопов и соотношение продуктов деления. Используя эти методы, производство плутония можно определить с более высокой точностью, порядка $\pm 3\%$, а в некоторых случаях порядка $\pm 1\%$.

● Поступление плутония и урана в технологическую зону должно проверяться в отношении полноты данных и заявлений о завышенных количествах. Практически на любом заводе по переработке топлива невозможно обеспечить отсутствие вывода байпасного трубопровода из технологической зоны баланса материалов независимо от того, посещается он во время строительства или нет. Поэтому основной контроль в связи с гарантиями должен быть основан на непрерывной проверке баланса материала в зоне переработки топлива.

● Другая трудность связана с измерением материала в оболочках после выщелачивания. Этот материал трудно проверить, и необходимо отдельно изучать каждый случай, поскольку возможные методы проверки ограничены. Однако жидкий контроль технологического процесса предоставляет возможность гарантии того, что содержание расщепляющегося материала в оболочках после выщелачивания весьма низко.

● Еще одна проблема, связанная с определением поступления плутония, касается повторной переработки азотной кислоты. Большинство растворов осуществляется с помощью больших количеств кислоты, уже применявшейся для той же самой цели ранее. Такая повторно используемая кислота обычно содержит значительное количество высокополимеризованного плутония, что определяется путем отбора проб и анализа. Вычитание этого значения, полученного в результате анализа повторно перерабатываемого плутония, из значения, полученного в результате анализа поступающего сырья, может привести к заявлению завышенных количеств поступлений плутония вследствие трудности, присущей такому анализу. С другой стороны, заявление завышенного содержания плутония в повторно используемой кислоте может привести к заявлению заниженного количества поступающего плутония. Поэтому необходима тщательная проверка повторно используемой кислоты на месте, включая анализ проб.

● Выход плутония из технологической зоны баланса материала является другим важным уровнем ключевой точки измерения. В случае выхода в форме раствора нитрата плутония, количественное определение вновь зависит от двух основных составляющих: 1) тех исходных данных, которые связаны с определением объема, включая тарировку бака, и 2) составляющей измерения концентрации, которая может быть основана на непосредственном измерении плутония, т.е. плутония, обычно имеющего высокую чистоту на этом этапе технологического процесса, для чего используются наиболее точные методы, такие, как вольтометрия с контролируемым потенциалом ($\pm 0,1\%$).

● На больших установках может быть введена непосредственно после цикла перегоронок промежуточная контрольная точка для потока плутония.

● Выход урана необходимо проверять и сравнивать с выходом плутония и отношением Pu/U , определенным на входном участке завода. В случае, когда работает этап процесса обжига, производящий U_3O_8 , необходимо установить промежуточную контрольную точку для урана в форме нитрата уранила, учитывая исходные данные для объема и исходные данные для концентрации. Промежуточный буферный склад для урана в жидкой или твердой форме необходимо проверять лишь с низкой периодичностью, т.е. каждые 3-6 месяцев в зависимости от остаточного обогащения.

● Конверсия нитрата плутония в окись плутония должна учитываться путем установления отдельной технологической зоны баланса материалов. Принципы измерения для получений и отгрузок в этой зоне баланса материалов в основном при соответствующих изменениях (*mutatis mutandis*) такие же, как в технологической зоне баланса материалов, упомянутой выше.

● Склад для хранения готового плутония на выходе завода по переработке топлива должен проверяться с высокой частотой и доверительным уровнем. Проверку промежуточных инвентарных количеств (например, с помощью проверок печатей) следует повторять каждые 2-3 недели. Отправления со склада конечного хранения должны опечатываться и вновь контролироваться сразу же после прибытия в зону баланса материалов получателя.

● Результаты инспекций и выводы в отношении гарантий должны постоянно прорабатываться на площадке с тем, чтобы обеспечить малые времена обнаружения. Большинство аналитических результатов, выдаваемых оператором завода по переработке топлива, получается по крайней мере в ходе двух этапов. Для технологических нужд оператору требуются аналитические результаты через несколько часов, однако он может допустить при этом пониженную точность иногда порядка до $\pm 20\%$.

Анализ такого рода обычно называют "технологическим анализом". Все виды анализа, важные для учета, повторяются с гораздо более высокой точностью, но с задержкой в несколько дней, в исключительных случаях - недель. Анализ такого типа обычно именуют "учетным анализом". Результаты инспекций должны составляться на непрерывной основе, используя аналогичную двухэтапную процедуру. Первый этап основан на наблюдении "технологического анализа", а на втором этапе вводится поправка, основанная на проверке "учетного анализа". Результаты только второго этапа сравниваются впоследствии с официальными отчетами, направляемыми в Центральные учреждения.

Гарантии для крупных заводов по переработке топлива

Крупный завод по переработке топлива с производительностью около 1500 т облученных топливных элементов ЛВР в год будет вырабатывать ежегодно от 10 до 14 т плутония. МАГАТЭ провело определенную подготовительную работу в отношении характера гарантий для крупных заводов по переработке топлива. Предполагается, что гарантии для крупных заводов по переработке топлива не будут в целом основываться на традиционных методах учета материала, поскольку ошибки измерений и неопределенность в балансе материала были бы слишком велики. Вместо этого гарантии будут основываться главным образом на концепции сохранения, дополняемой наблюдением и контролем, осуществляемыми как человеком, так и с помощью приборов. Одна из возможностей будет заключаться в создании высокочувствительного барьера или барьеров вокруг особо критичных участков завода. Этот барьер будет использовать высокочувствительные плутониевые дозиметры, которые детектируют радиоактивность плутония. Эта технология будет использоваться для дозиметрии персонала на ограниченном числе дверей (т.е. каналные дозиметры) и для того, чтобы полностью держать под контролем помещения с перчаточными боксами. Эти меры будут дополняться наблюдением. Такой подход также предполагает, что средства для непрерывного контроля целост-

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ — КНИГА 22, НОМЕР 3/4

ности физической защиты будут внесены на этапах проектирования и сооружения завода.

Еще одно обстоятельство, связанное с такими крупными заводами по переработке топлива и относящееся также в меньшей степени к другим будущим крупным установкам по обращению с материалами в балк-форме, заключается в том, что было бы весьма важно, чтобы эти заводы включали в себя конструктивные особенности, способствующие применению гарантий. Эти конструктивные особенности будут в основном незначительными и не должны в ощутимой степени увеличивать затраты на сооружение или эксплуатацию. Они будут включать в себя создание надежных линий для отбора проб, разработку конструкций баков, обеспечивающих полное опорожнение или, по крайней мере, допускающих измерение остатков в них, с установкой необходимых вентилей таким образом, чтобы баки можно было изолировать для проведения измерений. В настоящее время проводится ряд исследований, связанных с конструктивными критериями в отношении гарантий, как в рамках МАГАТЭ, так и в государствах-членах.

УРАНОВЫЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ЗАВОДЫ

Агентство не располагает реальным опытом применения гарантий на урановых обогатительных заводах и даже на опытно-промышленных установках, однако рассматривает этот вопрос уже в течение ряда лет, ожидая применения таких гарантий. Первые обогатительные заводы, которые должны быть поставлены под гарантии Агентства, представляют собой заводы центрифужного типа. Первые промышленные диффузионные заводы, которые должны быть поставлены под гарантии, все еще находятся в стадии строительства. По-видимому, Агентство в конце концов будет также поставлено перед фактом применения гарантий к заводам, использующим сопловые процессы, и, возможно, к заводам, использующим также и другие процессы*.

* В настоящее время Агентство применяет гарантии на трех обогатительных заводах.

Агентство не определило еще детально стратегию в отношении гарантий, применимую ко всем типам обогатительных заводов. Большинство проведенных до настоящего времени исследований было сконцентрировано на центрифужных установках такого типа, с которым Агентство непосредственно сталкивается при осуществлении гарантий. В настоящем разделе обсуждается общий подход к применению гарантий на обогатительных заводах, и в конце его обсуждаются некоторые специфические аспекты предполагаемого подхода Агентства к применению гарантий на центрифужных установках, основанного на проведенных до настоящего времени исследованиях.

Особенности, имеющие отношение к гарантиям, и возможности переключения

Урановые обогатительные установки имеют ряд общих особенностей, имеющих отношение к гарантиям. Помимо накопленных отходов на протяжении технологического процесса весь материал находится в одной химической форме высокой чистоты (шестифтористый уран). Исходным материалом может быть природный уран, обедненный или обогащенный уран, который был подвергнут вторичной переработке после облучения в реакторе и очистки, и обедненные хвосты (или низкообогащенный уран), перерабатываемые после другой установки или после предыдущих операций. Структура заводов может предусматривать несколько точек подачи исходного материала и вывода готовой продукции, причем после обработки на заводе может следовать определенная операция смешения, обеспечивающая конкретное обогащение в соответствии с контрактными обязательствами. Все многоэтапные процессы обогащения представляют собой истинно непрерывные процессы; для эффективного осуществления технологического процесса важны как непрерывная подача, так и непрерывное удаление готовой продукции (и хвостов). Как можно ожидать, обогатительные установки будут иметь зоны хранения исходных продуктов, хвостов и готовой продукции. Эти зоны могут иметь объемы материала, достигающие или превышающие эквивалент одного года нормальной эксплуатации, хотя эта особенность не является обязательной.

Урановые обогатительные заводы, как и установки по переработке топлива, вызывают большую озабоченность, чем прочие установки в топливном цикле, с точки зрения распространения, поскольку они могут быть использованы для производства материала, который непосредственно пригоден для ядерного взрывного устройства. Однако это действительно лишь для некоторых режимов работы таких установок. Для коммерческих целей урановые обогатительные заводы, обеспечивающие подготовку топлива для энергетических реакторов, обычно проектируются на обогащение материала приблизительно до 5% урана-235. Для военных целей обогащение обычно превышает 90%.

Центральный вопрос в связи с применением гарантий на обогатительных заводах заключается таким образом в том, может ли промышленный завод каким-либо образом быть приспособлен или эксплуатироваться с целью достижения более высоких обогащений. Ответ на этот вопрос зависит в значительной степени от типа завода. Центрифужный завод достигает коммерческого обогащения лишь на нескольких этапах, однако, поскольку количество, которое может обрабатываться каждой машиной, обычно мало, большое количество машин работает параллельно на каждом этапе с тем, чтобы обеспечить требуемый объем выработки. Переделка, направленная на достижение более высокой степени обогащения, будет заключаться в увеличении количества последовательно включенных этапов при снижении количества машин, работающих параллельно. Таким образом, перед оператором стоит выбор высоких темпов производства при низком обогащении или низких темпов производства при высоком обогащении. Поэтому в принципе для такого типа заводов существует возможность необъявленного использования, однако такая переделка может фактически потребовать значительных усилий.

Для классического газового диффузионного завода проблема переделки представляет еще большие трудности. Характер процесса таков, что на каждом этапе обеспечивается незначительное разделение, и поэтому даже для низких обогащений требуется много этапов. В до-

полнение к этому типичный газовый диффузионный каскад строится из блоков различных размеров, начинающихся с очень больших ступеней и уменьшающихся до последовательно все более меньших по мере достижения все более высоких обогащений. Возможность подразделения ранних этапов для создания дополнительных этапов маловероятна, если необходимо сохранять достаточную производительность. Помимо перестроек каскада еще одна возможность заключается в изменении режима работы таким образом, чтобы увеличить уровень обогащения, увеличив обогащение на каждом этапе, хотя в результате этого и упадет производительность. Однако это также может потребовать значительных усилий, и увеличение обогащения будет ограниченным.

Существуют также возможные стратегии сокрытия переключений, которые не предусматривают переделки оборудования или изменения режима работы обогатительного завода. Некоторые из этих стратегий таковы:

- использование отличного от объявленного исходного материала для достижения более высокого обогащения;
- фиктивные или завышенные данные об аварийных потерях UF_6 ;
- заимствование материала из другой зоны баланса материалов для покрытия недостачи в момент проведения физической инвентаризации;
- включение в инвентарный список учетных единиц, которые не существуют, или подсчет одних и тех же учетных единиц более одного раза;
- завышение данных измерений количества UF_6 или твердых отходов (остатки в оборудовании);
- повторная обработка готовой продукции в качестве исходной.

Общий подход к гарантиям

Независимо от типа уранового обогатительного завода общей чертой, оказывающей влияние на подход к гарантиям

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ – КНИГА 22, НОМЕР 3/4

тиям, является потенциальная чувствительность владельцев или операторов в отношении коммерческого или связанного с распространением оружия значения конструкций. В связи с этим в основных международных соглашениях было отмечено с самого начала потенциальное желание оператора обращаться с чувствительными участками завода как с "черным ящиком", иными словами, с участком, в котором работы, связанные с гарантиями, осуществляются по периметру участка без доступа к внутренним работам. Размеры этой зоны должны быть минимально возможными. В соответствии с подпунктом "b" iv пункта 46 документа INF/CIRC/153 государство может просить, чтобы на части установки была создана "специальная зона баланса материала". Предполагается, что инспектора МАГАТЭ не будут входить в такую зону. Документ INF/CIRC/66/Rev.2 пока еще не содержит специальных процедур в отношении гарантий для обогажительных заводов. Однако аналогичные положения для такой зоны баланса материала могут быть включены в дополнительные положения, по которым проводятся переговоры в связи с соглашением типа INF/CIRC/66/Rev.2, исходя при этом из того, что это соответствует условиям любого двустороннего соглашения о сотрудничестве указанного типа.

Подход к применению гарантий на этих заводах должен принимать во внимание такой ограниченный доступ при принятии классического подхода применения гарантий, состоящего в тщательном учете материалов и дополнительного мерami по сохранению и наблюдению. Такая идеология включает в себя принцип, состоящий в том, что все поступающие и исходящие материалы измеряются и периодически составляется баланс материала с малой неопределенностью. К счастью, на большинстве обогажительных заводов инвентарное количество материала, занятого в технологическом процессе, обычно существенно не отличается. Более того, на типичном обогательном заводе существуют самые высокие нормы учета материалов в сравнении с любым типом ядерной установки. Как опубликованные, так и неопубликованные

данные за много лет эксплуатации показывают высокую определенность баланса материала, и нет причин, по которым проектируемые и вводимые в настоящее время в строй заводы не будут в состоянии еще более повысить этот уровень. Поэтому процедуры гарантий на заводах будут состоять в тщательной проверке инспекторами по гарантиям всего материала, подаваемого на каскады, и всего выводимого с них материала как в количественном, так и в качественном отношении (обогащение). Безусловно, будет также необходимо контролировать все отклоняющиеся от технологической схемы передачи материала, как например, при передачах оборудования. Сохранение и наблюдение будут играть важную роль в снижении необходимой трудоемкости и поддержании непрерывной осведомленности для целей гарантий. Изучение баланса материала в этих условиях не только указывает на отсутствие материала, но также показывает, соответствует ли режим работы объявленному, поскольку переход на готовую продукцию высокого обогащения неизбежно отразится в изменении соотношения хвостов, готовой продукции и исходного материала.

В отношении вопроса о максимальном объеме регулярных инспекционных работ на обогатительных установках раздел 80 документа INFCIRC/153 допускает непрерывную инспекцию (фактически 450 человеко-дней в год) на установках с ежегодной производительностью свыше 500 кг_{эфф}. При номинальном обогащении готовой продукции 4% урана-235 это соответствует приблизительно 300 т урановой продукции или, возможно, 1300 т в год твердых отходов. Таким образом, более крупные установки подлежат непрерывной инспекции, а опытно-промышленные установки в строгом смысле нет. Хотя документ INFCIRC/66/Rev.2 не содержит специальных положений для обогатительных установок, он предусматривает постоянный доступ на другие указанные ядерные установки с инвентарным количеством или производительностью выше определенного уровня. Агентство надеется применять непрерывную инспекцию на любой промышленной обогатительной установке.

Подход в отношении гарантий для центрифужных установок

Основные меры в связи с гарантиями будут аналогичны мерам для других установок с материалом в балк-форме. Инспектор будет рассматривать информацию о конструкции, устанавливать исходное инвентарное количество, проверять учетные документы, проверять поток материала и фактически наличное инвентарное количество и использовать, когда необходимо, меры сохранения и наблюдения.

- Информация о конструкции будет изучаться с целью установления того, что планируемая стратегия гарантий осуществима. В частности, необходимо будет идентифицировать и проверить различные трубы, проходящие в зону каскада снаружи, а также проверить отсутствие вторичных станций подачи исходного материала и съема готовой продукции.
- При определении исходного инвентарного количества инспектор будет проверять, перечислены ли все цилиндры с UF_6 и другие учетные единицы инвентарных количеств и что ни одна из них не была продублирована. Он будет брать произвольные образцы учетных единиц и проверять заявленные количественные данные. Если существует значимое исходное инвентарное количество переработанного урана, инспектор будет произвольным образом производить выборку цилиндров, содержащих такой материал. После этого он будет периодически проверять инвентарное количество (включая цилиндры с исходным материалом, готовой продукцией и хвостами) с учетом использования печатей.

- Инспектор должен иметь периодический доступ ко всем элементам установки вне специальных зон баланса материалов, включая доступ ко всем границам специальных зон баланса материалов, чтобы установить сохранение и наблюдение. Все входы в специальную зону баланса материалов будут опечатаны или контролироваться (кино- или телевизионными камерами). Аналогичным образом будут проверяться и опечатываться все потоки материала, проходящие через технологические зоны баланса материала (т.е. цилиндры, содержащие ис-

ходные материалы, готовую продукцию и хвосты). Цилиндры с продукцией и исходными материалами будут вначале проверяться на 100-процентной основе, затем опечатываться на коллекторе исходного материала. Цилиндры с хвостами будут взвешиваться и опечатываться на выходном коллекторе. Отбор проб из цилиндров будет осуществляться параллельно с отбором проб, осуществляемым самим оператором.

- Должна проводиться оценка измерительной системы оператора, и инспектор должен быть в состоянии независимым образом проверять операторские учетные данные по материалам. Инспектор должен иметь регулярный доступ ко всем имеющим отношение к гарантиям данным и операциям ввода и вывода с тем, чтобы быть в состоянии постоянно пополнять свои сведения.
- Инспектор будет обращать особое внимание на второстепенные потоки (в дополнение к трем основным потокам), такие, как отходы, утечки из систем или потери на демонтаж оборудования, поскольку эти возможности могут быть использованы для сокрытия переключения.
- Отношения для второстепенных изотопов и баланс материала для второстепенных изотопов будут использоваться в качестве дополнительных мер по учету материала даже несмотря на то, что еще предстоит определить чувствительность этих методов.
- При определении зон баланса материалов и критических точек измерения каждое здание с каскадом (например, производительностью 600 единиц разделительной работы в год) будет определяться как отдельная зона баланса материалов. В этом случае окажется гораздо более трудным скрыть перестановку одного из модулей в здании каскада для производства высокообогащенного урана. Другими зонами баланса материалов будут: технологические зоны поступления и выхода, зона приемы UF₆, зона измерения и хранения, зона обслуживания и хранения отходов, зона хранения хвостов UF₆ и зона хранения и отгрузки готового UF₆. Если на заводе имеется собственная конверсионная установка для UF₆, она будет рассматриваться как отдельная зона баланса материалов.

УСТАНОВКИ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ (БР)

В настоящем разделе рассматривается не один, а несколько типов таких установок. Эти установки представляют собой те этапы топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах, которые поставлены в настоящее время под гарантии Агентства. Опыт МАГАТЭ по применению гарантий в этой области весьма ограничен как во временном, так и в количественном отношении. Из разрабатываемых топливных циклов реакторов на быстрых нейтронах наиболее совершенной стадии достиг топливный цикл жидкометаллического быстрого реактора (ЖМБР), причем диапазон разработки простирается от опытно-промышленных и демонстрационных реакторов до небольших обеспечивающих установок. Чисто коммерческих реакторов на быстрых нейтронах пока еще нет в эксплуатации. Агентство имеет определенный опыт по применению гарантий только лишь в отношении топливного цикла ЖМБР. Те установки топливного цикла ЖМБР, которые в настоящее время поставлены под гарантии Агентства, включают в себя несколько небольших заводов по изготовлению смешанного окисного топлива, несколько реакторов на быстрых нейтронах и небольшой перерабатывающий завод, предназначенный для переработки отработанного топлива ЖМБР. Большинство из указанных установок лишь недавно было поставлено под гарантии Агентства. В не таком уж отдаленном будущем ожидается, что под гарантии Агентства будут поставлены другие установки топливного цикла БР, включая несколько ЖМБР.

По мере того как в будущем будут вводиться в эксплуатацию более крупные установки коммерческого масштаба, как в топливном цикле ЖМБР, так и в топливных циклах других БР, перед Агентством возникнут такие же проблемы, какие поставят перед ним крупномасштабные заводы по переработке топлива, в связи с чем проводимые ниже меры станут недостаточными. Станет не только все в большей мере необходимо, чтобы заводы включали в себя конструктивные особенности, облегчающие применение гарантий, но, вероятно, придется при-

дать больший вес мерам сохранения и наблюдения в противовес учету материала, и, возможно, потребуются даже новые концепции.

В оставшейся части настоящего раздела внимание сосредоточено на тех типах установок топливного цикла ЖМБР, которые в настоящее время поставлены под гарантии, и особенно на самих ЖМБР.

Общие особенности топливного цикла БР, имеющие отношение к гарантиям

С точки зрения гарантий основное различие между топливными циклами ЛВР и БР заключается в том, что в топливном цикле БР с начала этапа изготовления непосредственно используемый материал присутствует в непосредственно используемой форме и в количествах, составляющих многие значимые количества. В цикле БР плутоний присутствует в больших количествах и он более концентрирован. В дополнение к этому плутоний, вырабатываемый в зонах воспроизводства реакторов на быстрых нейтронах, обычно лучше подходит для изготовления ядерных взрывных устройств, чем плутоний, который обычно получается в ЛВР. Кроме того, уран в активной зоне может также быть обогащен приблизительно до 20%.

Процедуры гарантий на установках по изготовлению топлива для топливного цикла ЖМБР рассматриваются в разделе "Установки, перерабатывающие плутоний, высокообогащенный уран или уран-233" на стр. 42 и поэтому к таким процедурам нет необходимости особо обращаться в данном разделе. Что касается переработки топлива, то отношение плутоний/уран для материала, перерабатываемого на заводе по переработке топлива ЖМБР, выше, чем на заводе, перерабатывающем топливо ЛВР. Однако с точки зрения гарантий существенной разницы между этими заводами нет. Поэтому процедуры, описанные в разделе "Заводы по переработке топлива" на стр. 45, в целом применимы к любому из этих двух типов заводов.

Что касается реакторного этапа, то с точки зрения гарантий существует значительное различие между средни-

ми промышленными размерами ЛВР и ЖМБР. В целом говоря, постановка под гарантии АЭС с ЖМБР значительно более сложна, чем постановка под гарантии АЭС с ЛВР. В пересчете на эффективные килограммы ЖМБР имеет во много раз большее фактически наличное инвентарное количество специального ядерного материала, чем обычно имеют ЛВР. Более того, значимые количества специального ядерного материала содержатся в топливных сборках ЖМБР на всех этапах реакторной установки. Свежее топливо, так же как и облученное топливо, и сборки зоны воспроизводства содержат значительные количества плутония. Заводы, эксплуатируемые в настоящее время и поставленные под гарантии Агентства, а также те, которые еще строятся, имеют инвентарные количества плутония в диапазоне от приблизительно 200 до 500 кг плутония в топливных сборках активной зоны, которые представляют собой сборки многостержневого типа и имеют смешанный окисный состав, а именно состав смеси около 10-20% плутония и 80-90% урана. Уран в активной зоне может быть обогащен, например, до 20% в случае пусковых активных зон для некоторых реакторов-размножителей. Часть плутония может находиться в радиальных или осевых сборках зоны воспроизводства, которые вначале состоят из обедненного урана. В настоящее время ЖМБР вырабатывают в среднем за год до 15% топлива больше, чем они потребляют.

Другой особенностью АЭС с ЖМБР является то, что получение доступа к облученным сборкам и к части свежих топливныхборок, содержащих специальные ядерные материалы, обычно значительно более затруднено, чем в случае АЭС с ЛВР, и в некоторых случаях топливные сборки могут быть практически недоступны. В течение большей части времени, когда они находятся на АЭС, эти сборки находятся и обращение с ними производится в среде натрия или инертного газа внутри герметически закрытого оборудования по обращению. Сборки загружаются в активную зону машиной, и ни на каком этапе не может быть проверено количество материала, находящегося в активной зоне. Хранение отработанного топлива до некоторой степени отличается на разных ЖМБР,

однако проверка сборок на этом этапе в равной мере затруднительна. В случае одной электростанции, поставленной под гарантии, отработанное топливо в течение нескольких месяцев хранится в баке с жидким натрием, и в течение этого периода его нельзя непосредственно проверить. Впоследствии его можно проверить после передачи в горячую камеру. В другом случае отработанное топливо вначале отмывается, а затем помещается в баки, которые хранятся в бассейнах. Сборки не могут быть непосредственно идентифицированы, пока они находятся в баках.

Перегрузка топлива на ЖМБР обычно аналогична перегрузке топлива на ЛВР, причем каждый год производится замена около половины активной зоны и одной трети зоны воспроизводства.

Возможности переключения

Установки по изготовлению топлива для ЖМБР

Возможности переключения на заводе по изготовлению топлива для ЖМБР в общем аналогичны примерам, описанным в разделе "Конверсионные заводы и заводы по изготовлению топлива" на стр. 34-45, но специфические возможности будут зависеть от компонентов материала, используемого для изготовления топлива. Материал, поступающий на завод по изготовлению топлива, будет состоять из урана в форме природной или обедненной двуокиси урана и, возможно, также обогащенной двуокиси урана (около 20% U-235). Он будет также состоять из чистой двуокиси плутония, поступающей с завода по переработке топлива ЖМБР, с завода по переработке топлива ЛВР или со склада. Двуокись урана и двуокись плутония смешиваются на заводе по изготовлению топлива и прессуются в топливные таблетки.

ЖМБР

В зависимости от конкретных характеристик завода наиболее уязвимой для переключения точкой на ЖМБР будет зона хранения свежего топлива. Однако, если за-

вод имеет установку для сборки топливных стержней в кассеты, эта установка будет представлять собой более привлекательное место в смысле переключения, поскольку доступ к топливным стержням будет менее сложным. Могут быть использованы один или несколько способов сокрытия, включая замену имитаторами стержней, искажение учетных документов, затруднение работы устройств наблюдения, сохранения и т.п.

Переключение собственно из реактора и из зоны отработанного топлива в большинстве случаев гораздо более затруднительно. Хотя количество материала в сборках активной зоны и зоны воспроизводства реактора и в зоне для отработанного топлива практически невозможно проверить непосредственно с точки зрения инспекторов по гарантиям, эти зоны также в меньшей степени доступны для потенциального лица, осуществляющего переключение, прежде всего вследствие того, что они сильно облучены. Тем не менее эту возможность следует учитывать.

Последней возможностью переключения является тайное облучение обедненного или природного урана в зоне воспроизводства.

Заводы по переработке топлива ЖМБР

В целом возможности для переключения на заводе по переработке топлива ЖМБР будут аналогичны возможностям на заводе по переработке топлива ЛВР (см. раздел "Возможности переключения" на стр. 49, особенно в связи с тем обстоятельством, что количество плутония в метрической тонне поступающего топлива будет примерно в 10 раз больше.

Цель обнаружения

Цель гарантий Агентства на установках топливного цикла ЖМБР состоит в том, чтобы обеспечить обнаружение со степенью достоверности, равной 95%, продолжительного переключения любого или всех типов ядерного материала на минимальном уровне одного значимого количества в год или разовых переключений более одного

значимого количества быстро конвертируемого специального расщепляющегося материала в течение периода от одной до трех недель.

Подход в отношении гарантий

Установки по изготовлению топлива для ЖМБР

Агентство осуществляет непрерывную инспекцию на заводах по изготовлению топлива для ЖМБР, используя подход применения гарантий, описанный на стр. 42-65,

ЖМБР

Обычно трудозатраты Агентства на проведение инспекций на ЖМБР составляют около 50 человеко-дней в год. Многие из мер по гарантиям, применяемых на ЛВР, также применяются на ЖМБР, причем основные различия обусловлены наличием большого количества чувствительного материала на ЖМБР и вытекающим отсюда требованием относительно малого времени обнаружения. Материально-балансовые учетные документы подвергаются ревизии с целью убедиться, что они формально правильны, и проверяются, чтобы подтвердить, что содержащаяся в них информация совпадает и соответствует информации, содержащейся в отчетах, представленных МАГАТЭ. Эксплуатационные учетные документы проверяются точно таким же образом, как и материально-балансовые учетные документы, и используются для установления распределения топливных сборок в установке.

ЖМБР точно так же, как и реакторы других типов, обычно имеют одну зону баланса материала. Для целей физической инвентаризации зона баланса материала может быть разделена на несколько ключевых точек измерения, включающих зону хранения свежего топлива, активную зону и зону хранения отработанного топлива. В случае реакторной установки, имеющей свою собственную установку для сборки стержней свежего топлива или разборки сборок, содержащих отработанное топливо, может быть по договоренности установлена дополнительная зона баланса материала. Ключевые точки

измерения для определения потока ядерного материала включают в себя: точки получения и регистрации ядерного материала, точки аварийного воспроизводства, точки ядерных потерь и производства в топливе, выгруженном из реактора, точки отгрузки и списывания ядерного материала, точки аварийных потерь. Стратегические точки применения сохранения и наблюдения обычно включают склад хранения свежего топлива и сборок зоны воспроизводства и маршруты передач в активную зону, реакторный зал, маршруты передач отработанного топлива, зону операций заключения в баки и хранения, маршруты доступа к другим местам расположения ядерного материала на установке. Обычное определение фактически наличных количеств материала проводится два раза в год и проверяется инспекторами Агентства. Оператор заранее подготавливает список с наименованием учетных единиц о ключевых точках измерения. Используемые процедуры включают в себя подсчет учетных единиц и идентификацию и неразрушающий анализ.

Обычно свежие топливные сборки, отгруженные на ЖМБР с установки по изготовлению смешанного окисного топлива, подвергаются проверке методом неразрушающего анализа до отгрузки, и на транспортировочных контейнерах ставятся печати. По прибытии контейнеров на реактор печати на транспортировочных контейнерах проверяются инспектором, а сборки проверяются методом идентификации (по серийным номерам) и подсчета учетных единиц в момент, когда они перегружаются из транспортировочных контейнеров в контейнеры зоны хранения свежего топлива. (Контейнер каждого типа герметичен и содержит инертный газ). Каждое отдельное гнездо или контейнер для хранения сборок свежего топлива и сборок зоны воспроизводства опечатывается инспектором Агентства, а зона хранения подлежит оптическому наблюдению. Механизмы для перегрузки топлива в активную зону и из нее также могут опечатываться.

Если, по мнению инспекторов Агентства, меры по сохранению вызывают сомнение или неправильно срабатывают устройства наблюдения, то, вероятно, необходимо

рассмотреть проведение проверки путем подсчета учетных единиц и(или) с помощью неразрушающего анализа во всех стратегических точках на установке. Исключая некоторые неожиданные случаи, Агентство обычно проверяет целостность печатей и соблюдение любых других мер сохранения и наблюдения в соответствии с установленным временем обнаружения для данной установки.

После того как свежие топливные сборки (зоны воспроизводства) загружаются загрузочными машинами в натрий с целью перемещения во временные хранилища или для введения собственно в реактор, процедура проверки становится весьма сложной. Фактически оказывается невозможным непосредственно проверить инвентарное количество в активной зоне реактора. Поэтому необходимо, чтобы во время начальной загрузки активной зоны и зоны воспроизводства присутствовали инспектора с целью проверки начального инвентарного количества. Сама активная зона после загрузки опечатывается. После этого присутствие инспекторов требуется во время последующей загрузки и разгрузки активной зоны и зоны воспроизводства. В противном случае для активной зоны реактора во время эксплуатации применяются обычное оптическое наблюдение (камеры) и печати. В дополнение к этим мерам в будущем могут использоваться другие меры наблюдения, такие, как применение диэлектрических мониторов, регистрирующих следы заряженных частиц, для независимого контроля работы реактора (т.е. уровня мощности) и счетчики связей для контроля перемещения топливныхборок, вводимых в активную зону и выводимых из нее. Такие меры помогут уменьшить возможность необнаруженного скрытого облучения ядерного материала.

Гарантии, применяемые к зоне отработанного топлива, в основном одни и те же, независимо от того, отмываются ли вначале сборки, содержащие отработанное топливо, и затем помещаются в контейнеры для хранения, или они сразу переносятся в натриевое хранилище. Первостепенную важность играет оптическое наблюдение. Инспектор присутствует, когда сборки отработанного топлива должны отгружаться на расположенные на уда-

лении установки (например, для переработки). Он наблюдает за передачей контейнеров с отработанным топливом в транспортировочные бочки, и эта зона опечатывается после загрузки.

Установки для переработки топлива ЖМБР

Агентство осуществляет непрерывные инспекции на установках по переработке топлива ЖМБР, используя основной подход, описанный в разделе "Подход в отношении гарантий" на стр. 50-64.