

ДВУСТОРОННИЙ АМЕРИКАНО-РОССИЙСКИЙ РЕЖИМ ПРОЗРАЧНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОТСУТСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО УРАНА

О. Бухарин

Двусторонний американо-российский режим для подтверждения того, что ни одна из стран не производит секретно свежий высокообогащенный уран (ВОУ), станет важной инициативой по нераспространению и уменьшению ядерной угрозы. Он закроет остающиеся лазейки в зарождающейся системе международного контроля над делящимися материалами и сделает необратимыми сокращения американского и российского арсеналов ВОУ. Режим прозрачности для проверки отсутствия производства ВОУ представляется выполнимым. Уже существуют и прошли операционную проверку пригодные технологии и процедуры мониторинга. Американо-российское сотрудничество по вопросам удаления ВОУ и плутония и по другим приложениям ядерных технологий может дать России необходимый стимул для участия в предлагаемом режиме.

Статья получена 5 сентября 2002 г. и принята к публикации 23 октября 2002 г.

О.Бухарин работает по программе «Наука и всеобщая безопасность» в Школе им. Вудроу Вильсона при Принстонском университете. Почтовый адрес: O.Bukharin, Woodrow Wilson School, Princeton University, 221 Nassau Street, Princeton, NJ 08542-4601, USA. Электронный адрес: bukharin@princeton.edu

ЗАЧЕМ НУЖНА ПРОЗРАЧНОСТЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТСУТСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОУ?

США и Россия (каждая страна сама по себе) заявили, что больше не производят ядерные материалы для оружия. США прекратили производство высокообогащенного урана (ВОУ) для любых целей в 1993 г. Считается, что Россия также больше не производит ВОУ. Фактически, ни одна из стран не нуждается в производстве дополнительного ВОУ для задач, не связанных с оружием. Существующие запасы оцениваются как достаточные для покрытия национальных требований в течение 150 лет или более (смотрите Приложение А). Каждая из стран определила часть запасов ВОУ как избыточную и производит разведение избыточной части ВОУ.

В соответствии с американо-российским соглашением по ВОУ (1993 г.) США взяли на себя обязательство закупить, по крайней мере, 500 тонн российского ВОУ из демонтированного ядерного оружия после его преобразования в уран реакторного качества с низким уровнем обогащения (НОУ), произведенного в России.¹ Чтобы убедиться в изготовлении НОУ из ВОУ, США устанавливают ряд мер прозрачности на российских предприятиях, включенных в процесс разведения ВОУ-НОУ. Процесс разведения избыточного ВОУ в США подлежит мониторингу со стороны Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).²

США и Россия прекратили также производство плутония для ядерного оружия. Каждая из стран заявила, что 34 тонны плутония оказываются избыточными с точки зрения военных

¹ Дополнительные количества российского ВОУ разведены в рамках инициативы по комплектованию и конверсии материалов, которая входит в американо-российскую программу по защите, контролю и учету ядерных материалов, а также является частью российско-немецких действий по созданию топлива для ядерного энергетического реактора на основе переработанного урана и ВОУ.

² В США избавление от ВОУ началось в 1999 г. на заводе «BWX Technologies Inc.» в Линчбурге (Вирджиния). Ожидается, что к 2006 г. будет удалено 50 тонн ВОУ. William Wallack "BWXT Expects to Complete Downblending of 50 Metric Tons of HEU by Mid-2005", *Nuclear Fuel* (November 27, 2000).

требований. Освобождение от этого плутония может, по-видимому, начаться в течение нескольких лет. Как ожидается, хранение и удаление плутония будут производиться под наблюдением МАГАТЭ. США и Россия 23 августа 1997 г. заключили соглашение о закрытии промышленных плутониевых реакторов, что позволяет Соединенным Штатам осуществлять мониторинг за плутонием, произведенным после января 1997 г. на трех промышленных плутониевых реакторах, которые еще работают в закрытых городах Северск и Железногорск. Цель этого намечаемого мониторинга заключается в проверке того, что новый полученный плутоний помещается в хранилище и не передается на использование в программах ядерного оружия.³ Американо-российское соглашение 1994 г. о закрытии российских промышленных плутониевых реакторов предусматривает меры верификации для подтверждения закрытого статуса реакторов, которые больше не являются действующими.

Но эта развивающаяся система двусторонних мер прозрачности (которые в ряде случаев дополняются гарантиями МАГАТЭ) для проверки необратимых сокращений оборонных запасов ВОУ и плутония обеих стран обладает значительной утечкой. В частности, пока нет мер для подтверждения того, что ни одна из стран секретно не производит свежий ВОУ для использования в оружии или для компенсации сокращений запасов ВОУ, которые происходят в соответствии с международными обязательствами.

Подобный двухсторонний режим прозрачности для отсутствия производства ВОУ мог бы стать важным связывающим блоком в американо-российских отношениях по ядерной безопасности на период после холодной войны, которые основаны на доверии и сотрудничестве. С международной точки зрения, он станет важным шагом к договору о глобальном запрете производства делящихся материалов.

Для Соединенных Штатов наиболее важным побуждением вести переговоры с Россией по поводу двустороннего режима прозрачности для отсутствия производства ВОУ стало бы, возможно, получение уверенности в том, что Россия не заменяет ВОУ, который разводится в соответствии с американо-российским соглашением 1993 г. по ВОУ, на новый произведенный ВОУ.⁴ Это станет даже еще более важным, если обе стороны согласятся на уничтожение дополнительных запасов российского ВОУ. Объединенная американо-российская группа экспертов по ускорению удаления ядерных материалов, организованная после встречи Буша с Путиным в мае 2002 г., предложила недавно уничтожить дополнительные количества российского ВОУ путем создания стратегического резерва НОУ (полученного из ВОУ) в США и использования разведенного НОУ в западных реакторах.

Для России подобного конкретного и непреодолимого повода нет. Как будет объяснено ниже, США определенно не производят ВОУ, а Россия не платит за американские усилия по разведению ВОУ. Впрочем, Россия могла бы, вероятно, заинтересоваться в прозрачности для отсутствия производства ВОУ в обмен на обязательства США расширить деятельность, обусловленную соглашением по ВОУ 1993 г., и техническое сотрудничество в области ядерных топливных циклов и реакторных технологий.

СОЗДАНИЕ РЕЖИМА ПРОЗРАЧНОСТИ ДЛЯ ОТСУТСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОУ

Практически весь уран в США проходил обогащение на трех газодиффузионных заводах. Заводы в Окридже и Портсмуте (оба больше не работают и частично демонтированы) производили как ВОУ, так и НОУ. Газодиффузионный завод в Падуке (единственное оставшееся работающее предприятие по обогащению в США) никогда не производил ВОУ, а сейчас обладает лицензией на обогащение урана до уровня 5%-го содержания урана-235. В

³ Условия мониторинга предполагают подтверждение заявленных микро-количеств произведенного плутония и его заявленный изотопный состав оружейного качества. Поскольку изотопный состав российского оружейного плутония засекречен, ожидается, что мониторинг будет включать в себя радиационные измерения и применение технологий с информационным барьером. Плутоний будет считаться оружейным, если отношение содержания Pu-240/Pu-239 не будет превышать 0.1. Возможно, будет использован подсчет умножения числа нейтронов для определения массы плутония.

⁴ Действительно, как заявил один из американских экспертов, «Мы знаем, что русские разводят свой ВОУ. Но из всего того, что мы знаем, вытекает, что они могут производить столько же нового плутония в соседнем помещении.»

США было построено небольшое количество предприятий с экспериментальными и пробными центрифугами, но все они уже закрыты. Небольшой калютрон в Окридже производит чистые не урановые изотопы. Новые коммерческие установки с центрифугами могут быть введены в действие в США где-то к 2010 г.

Основу российского комплекса обогащения составляют крупные заводы с газовыми центрифугами, расположенные в Новоуральске, Северске, Железногорске и Ангарске. Кроме того, где-то полдюжата небольших центрифуг и установок с калютроном находятся в исследовательских институтах и на предприятиях по изготовлению центрифуг; они применяются для НИР по центрифугам и/или для обогащения не урановых изотопов.

В конечном итоге, в соответствии с договором о прекращении производства делящихся материалов все предприятия по обогащению в США и России придется поставить под гарантии МАГАТЭ. Впрочем, на переходный период может оказаться более практичным договориться об упрощенном режиме прозрачности. Задачей такого режима стало бы обнаружение крупномасштабного производства ВОУ (например, 100 кг ВОУ в год, чего хватит для изготовления примерно пяти боеголовок) с одновременной охраной коммерческой информации о работе предприятий и объеме производства, а также закрытой технической информации (например, сведений о конструкции центрифуг).

Введение режима прозрачности начнется с политического заявления об отсутствии производства ВОУ и с обмена данными по всем работающим и закрытым обогатительным предприятиям, включая общую конструкцию, производительность и сроки работы. После обмена данными последуют взаимные посещения площадок для ознакомления.

Обмен данными позволит обеим странам снять с мониторинга калютроны, экспериментальные каскады центрифуг, а также более мелкие установки, неспособные производить пороговые количества ВОУ. Затем режим сосредоточится на более крупных обогатительных установках, включая действующие и закрытые газодиффузионные заводы (в основном, в США), бездействующие обогатительные установки с центрифугами (опять, в основном, в США), действующие обогатительные заводы с центрифугами в России и предлагаемые заводы с центрифугами в США.

Меры мониторинга газодиффузионных заводов в США достаточно прямолинейны. Не рабочий статус газодиффузионных заводов в Окридже и Портсмуте легко можно подтвердить при помощи аэрокосмических наблюдений за охлаждающими башнями и производственными операциями или путем наблюдения за инфракрасными особенностями помещений с каскадами. Аэрокосмические наблюдения могут быть дополнены посещениями площадок по краткосрочному уведомлению для подтверждения того, что связанное с процессом оборудования остается холодным или демонтированным.⁵

Завод в Падуке не предназначен для операций с ВОУ и использование его оборудования для производства ВОУ связано с риском нарушения безопасности из-за возникновения ядерной критичности.⁶ Посещения площадок в Падуке с краткосрочным уведомлением для проверки отсутствия перемен в рабочем оборудовании окажется, скорее всего, достаточным для целей режима проверки отсутствия производства.

Меры прозрачности для подтверждения статуса закрытия в отношении американских и российских бездействующих установок с центрифугами также окажутся относительно простыми. В число возможных подходов могут войти установка устройств для определения вибраций на силовом оборудовании или на других критических элементах производственного оборудования, а также применение датчиков для обнаружения вибраций, связанных с обогатительными операциями, или для обнаружения высоких температур в блоке загрузки и в блоке выхода продукта. Эффективным средством может стать и дистанционный мониторинг. Методика дистанционного мониторинга, разрабатываемая в настоящее время в национальных лабораториях США и России, основана на применение устройств, чувствительных к вибрациям, датчиков движения и включаемых при обнаружении движения наблюдательных камер, причем выходные показания датчиков доступны по Интернету.

⁵ Обычно требуется несколько дней, чтобы газодиффузионное оборудование охладилось до комнатной температуры после того, как отключено электропитание.

⁶ Хотя оборудование в Падуке само по себе безопасно по отношению к критичности, возможные случаи появления критичности могут быть обусловлены отложением ВОУ на поверхностях оборудования.

Любые новые обогатительные предприятия в США, как кажется, будут доступны для гарантий МАГАТЭ. Действительно, закрытый сейчас обогатительный завод с газовыми центрифугами в Портсмуте, проработавший несколько лет в середине 80-х гг., был признан в те времена ненужным для задач национальной безопасности и был предложен для получения гарантий МАГАТЭ. Кроме того, американское правительство заявило в 1993 г. о политике нераспространения и экспортного контроля, которая предусматривала гарантии МАГАТЭ для всех делящихся материалов, оказавшихся избыточными с точки зрения оборонных потребностей.⁷

Наиболее спорной проблемой (которая к тому же оказывается ключевым элементом режима отсутствия производства ВОУ) станет мониторинг российских обогатительных предприятий с работающими центрифугами, Ниже кратко обсуждаются возникающие вопросы и технические подходы к мониторингу крупных предприятий с центрифугами.

МОНИТОРИНГ КРУПНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ЦЕНТРИФУГАМИ

Высокая разделительная производительность отдельных центрифуг, небольшое количество используемых в процесс материалов и модульная конструкция предприятий затрудняет задачу обеспечения гарантиями обогатительного завода с центрифугами (смотрите Приложение Б). Впрочем, МАГАТЭ и Евротом накопили значительный опыт обеспечения гарантиями заводов с центрифугами в Западной Европе и на Дальнем Востоке. В действительности, МАГАТЭ уже имеет некоторый опыт (к сожалению, ограниченный) в предоставлении гарантий спроектированным в России заводам с центрифугами, В соответствии с трехсторонним соглашением, достигнутым Россией, Китаем и МАГАТЭ, Агентство осуществляет гарантии на сооруженном российской стороной обогатительном заводе Шаньси в Китае. Однако, по состоянию на 2001 г. Агентству не удалось добиться средств для изготовления мониторов степени обогащения и потока материала, которые следует установить на трубах с продуктом и с отходами. (Поставленный Россией новый обогатительный завод в Ланжу не находится под гарантиями из-за отсутствия средств и ресурсов.)

Гарантии МАГАТЭ на работающих предприятиях с центрифугами в Западной Европе, Японии и Китае содержат такие элементы, как верификация потока и баланса материалов, ограниченные локализация и слежение, ограниченное число незаявленных посещений с инспекциями и непрерывный мониторинг обогащения (смотрите Приложение В). Некоторые из этих мер могут быть признаны неподходящими для двустороннего режима отсутствия производства. Например, проверка потоков материалов, документы по балансу материалов и записи производства для обнаружения уменьшения производительности предприятия являются особенно важными элементами гарантий МАГАТЭ для предотвращения возможных сценариев хищения. Впрочем, проверки потоков и балансов материалов могут оказаться неприемлемыми для предлагаемого режима прозрачности в отношении отсутствия производства делящихся веществ, потому что они раскрывают уровни производительности и другую важную деловую информацию, носящую характер собственности, о работе предприятия. Ряд других мер, осуществляемых МАГАТЭ на обогатительных установках в других местах (например, ежемесячное взятие образцов шестифтористого урана из резервуаров сырья, продукта и отходов), также могут рассматриваться в качестве заходящих слишком далеко.

Напротив, использование непрерывных мониторов степени обогащения кажется обещающим и может стать центральным элементом режима мониторинга. Установленный на трубе с продуктом вблизи места сбора продукта (вне зоны, где могут проводиться внешние инспекции без предупреждения), подобный монитор измеряет степень обогащения урана непрерывно и автономно. Монитор может быть помещен внутри устойчивого к вибрациям кожуха. Для сохранения закрытой информации он может воспользоваться информационным барьером и выдавать данные инспекторам в виде «да/нет» (ВОУ/НОУ). Устройство может быть связано с кабинетом инспекторов электронной почтой.

США и Россия уже осуществили аналогичную систему на предприятиях по разведению ВОУ в России в качестве части мер по прозрачности ВОУ. Система мониторинга разведения применяется для проверки степени обогащения урана и потоков шестифтористого урана в

⁷ Fact Sheet, "Non-proliferation and Export Control Policy" (The White House, Office of the Press Secretary, September 27, 1993).

зонах разведения ВОУ по мере его перехода в НОУ.

Метод основан на активации потока делящегося материала нейтронами и последующего детектирования запаздывающего излучения от продуктов деления ниже по течению.

Важный вопрос заключается в том, согласится ли Россия предоставить американскому персоналу доступ без предварительного уведомления в залы с производственными каскадами и с исследовательскими центрифугами. Такие инспекции окажутся важными для противодействия гипотетическим сценариям хищения на основе повторного использования продукта или изменения конфигурации каскадов. Эти инспекции сведутся к проверке входящего в процесс оборудования с целью обнаружения установки дополнительных труб и необычных вентилях (то есть, для проверки изоляции каскадов и определения числа ступеней). Возможны также наблюдения за участками каскадов в поисках незарегистрированного оборудования (портативные станции для загрузки и выгрузки материала, контейнеры с шестифтористым ураном) или за деятельностью в производственной зоне. При этом может оказаться полезным использование технологий дистанционного мониторинга для подтверждения состояния ключевых вентилях и рабочих площадей.

Потенциально привлекательной методикой представляются инспекции с применением портативного автономного оборудования (ПАО) для проверки производственного оборудования (нагреватели газа, холодные ловушки для шестифтористого урана, станции выхода продукта) в целях обнаружения следов присутствия ВОУ (на это указывает большой поток гамма-лучей с энергией 186 кэВ). Впрочем, европейский опыт подсказывает, что применение ПАО может оказаться осложненным при нестандартных размерах труб, рабочем давлении газа и отложениях на стенках труб. По этим причинам из всех заводов Уренко ПАО нормально используется только на заводе E22 в Кейпенхорсте (Англия).⁸ Что касается России, то там придется применять ПАО для объяснения возможных следов от прошлой производственной деятельности. Кроме того, все российские предприятия (за исключением завода в Ангарске) будут обрабатывать большие количества ВОУ (в виде шестифтористого урана, обломков и мусора) в рамках соглашения 1993 г. о разведении ВОУ и, возможно, российских усилий по разведению ВОУ, чтобы обеспечить НОУ для своих реакторов.

Мониторинг отсутствия производства ВОУ можно осуществить за умеренную цену в качестве дополнения к уже существующим усилиям по мониторингу процесса ВОУ-НОУ, которые уже происходят в России. США уже создали постоянный офис по мониторингу в Новоруральске, а другой офис с постоянным пребыванием сооружается в Северске. Потребуется дополнительные посещения для установки и поддержания деятельности непрерывных мониторов степени обогащения на обогатительных установках с центрифугами в Железногорске и Ангарске и для проведения инспекций без уведомления в этих местах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Режим прозрачности для отсутствия производства ВОУ станет важной инициативой по нераспространению и уменьшению ядерной угрозы. Он закроет остающуюся лазейку в существующей американско-российской системе и в международном контроле над делящимися материалами, а также сделает необратимыми сокращения американских и российских запасов ВОУ.

Достигнуть режима прозрачности для отсутствия производства ВОУ окажется не простым делом. Российская промышленность, связанная с обогащением урана, традиционно обладала большой секретностью, а недавно уровень секретности ядерного комплекса увеличился. (В значительной степени, меры секретности в обогатительном урановом комплексе предназначены для защиты коммерческих секретов и закрытых технологий центрифуг.) По крайней мере, на первых порах новому режиму придется также иметь дело с асимметрией американской и российской технологий обогащения и соответствующих инфраструктур (что потребует от России смириться со значительно более интенсивными и проникающими инспекциями). Наконец, инспекции на работающих обогатительных предприятиях потребуют значительного финансирования и могут повлиять на производственные операции.

⁸ S.Baker, B.Dekker, P.Friend, K.Ide: *The Introduction of Continuous Enrichment Monitor for Safeguards Applications in Centrifuge Enrichment Plants* (Marlow, United Kingdom: Urenco, undated).

Тем не менее, режим отсутствия производства ВОУ представляется осуществимым. Пригодные для этого технологии и процедуры мониторинга уже существуют. Они были проверены в рабочих условиях сотрудниками МАГАТЭ и в рамках соглашения по ВОУ 1993 г. Американо-российское сотрудничество в областях избавления от ВОУ и плутония, хранения отработанного топлива и других ядерных технологий могут предоставить для России необходимый толчок для участия в предлагаемом режиме отсутствия производства ВОУ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор хотел бы поблагодарить всех тех, кто предоставил информацию, относящуюся к этому исследованию. Они работают в следующих организациях: Корейском исследовательском институте по атомной энергии (KAERI), Корейской компании ядерного топлива (KNFC), Корейской компании энергетического машиностроения (КОРЕС), Сеульском национальном университете (SNU), и Техническом центре ядерного контроля (TCNC). Джангмин Канг особенно хотел бы поблагодарить профессоров Фрэнка фон Хиппеля и Харольда А. Фейвесона из Принстонского университета за их очень полезные комментарии и их помощь в его присоединении к Программе науки и всеобщей безопасности (PS & GS). Взгляды и выводы, выраженные в этой статье, не обязательно отражают взгляды и любое одобрение этих организаций или отдельных лиц внутри них.

ПРИЛОЖЕНИЕ А: ПРИМЕНЕНИЕ ВОУ И ПОТРЕБНОСТИ В НЕМ В США И РОССИИ

В конце холодной войны запас американского ВОУ оценивался в 750 тонн. В 1995 г. было заявлено, что 174 тонны являются избыточными для военных требований. Из оставшегося арсенала, как считается, примерно 210 тонн связано с оружейной программой. Большая часть остающихся запасов (примерно 370 тонн) размещено в резерве для поддержки программы ВМФ с ядерными двигателями. По состоянию на 2000 г., ежегодная потребность в ВОУ оценивается в две тонны (пять активных реакторных зон по 400 кг ВОУ в каждой)⁹. При таком уровне потребления ВОУ существующего запаса хватило бы на поддержку программы атомных подлодок в течении более, чем 150 лет.

В начале 90-х гг. запас российского ВОУ оценивался в 1200 тонн (в пересчете на уровень обогащения 90%)¹⁰. Из этого количество 500 тонн ВОУ должны быть разведены в соответствии с американо-российским соглашением 1993 г. Примерно 250 тонн ВОУ, как можно считать, останется в оружейном арсенале. Возможное применение оставшегося запаса ВОУ (450 тонн) может включать в себя следующее (указаны ежегодные потребности):

- 600 кг ВОУ на три промышленных реактора по производству плутония, которые продолжают работать непрерывно в Северске и Железногорске (заккрытие предусмотрено примерно в 2005-2010 гг.);
- 1.5 тонны ВОУ для реакторов по производства трития;
- 1 тонна ВОУ для реакторов на кораблях и/или подлодках;
- 200 кг ВОУ для исследовательских реакторов.

При будущих ежегодных потребностях в 2-3 тонны ВОУ существующего запаса хватит более, чем на 150 лет.

⁹ Chunyan Ma, Frank von Hippel "Ending the Production of Highly Enriched Uranium for Naval Reactors," *The Nonproliferation Review* (Spring 2001), 86-101.

¹⁰ О.Бухарин, «Анализ размеров и качества запасов урана в России», *Наука и всеобщая безопасность*. т.6, вып. 1, (июнь 1966 г.); О.Бухарин, « Обеспечение безопасности запасов ВОУ в России», *Наука и всеобщая безопасность*, т.7, вып.3 (январь 1989 г.); D.Albright, F.Berkhout, W.Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium:1996 World Inventories, Capabilities, and Policies*, Oxford, United Kingdom, Oxford University Press, 1997.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б: ГАРАНТИИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРИФУГ

Технология обогащения на основе центрифуг исключительно подходит для несанкционированного производства ВОУ. Отдельные конструктивные особенности, связанные с этим утверждением, таковы¹¹:

- *Высокий коэффициент разделения на ступень.* Содержание урана-235 в конечном продукте газовой центрифуги, по крайней мере, на 20% выше, чем в исходном сырье. Вообще говоря, достаточно иметь несколько десятков ступеней, соединенных последовательно, чтобы получить ВОУ (сравните это с тысячами ступеней, необходимыми для получения ВОУ на газодиффузионном заводе).
- *Небольшое количество материала, занятого в процессе.* Это обстоятельство обеспечивает короткое равновесное время для каскада. Кроме того, надо иметь небольшое количество материала для заполнения обогатительного каскада.
- *Короткое равновесное время для каскада.* Типичное равновесное время у каскада на центрифуге составляет один час и один день для производства НОУ и ВОУ, соответственно. Короткое равновесное время уменьшает риск обнаружения скрытого производства ВОУ.
- *Модульная конструкция производства.* На заводе с центрифугами существует большое число каскадов, работающих параллельно. Это позволяет оператору использовать часть предприятия для производства ВОУ при одновременном изготовлении законного продукта в виде НОУ на остальной части завода.

Вообще говоря, режим мониторинга надо спроектировать так, чтобы учесть следующие сценарии отклонения от нормальной работы.

Незапланированная операция отдельного каскада (каскадов). Можно так установить вентили, чтобы часть продукта возвращалась обратно к точке ввода исходного сырья. Это увеличит степень обогащения конечного продукта ураном-235 примерно на 20%. Затем уран средней степени обогащения можно еще более обогатить другими методами отклонения от нормальной работы или на небольшой скрывающейся установке. Впрочем, из-за неоптимальной конфигурации каскада вырастут отходы, а эффективность производства упадет (примерно на 10% по сравнению с проектной).

Повторное использование части продукта. Повторное использование обогащенного продукта для ввода в обогатительный каскад может, в принципе, привести к производству ВОУ. Если каскад настроен на получение НОУ (трехпроцентное содержание урана-235), потребуются примерно четыре повторные загрузки для получения ВОУ с 90%-ным обогащением. При таком сценарии на предприятии будет забираться из процесса (или поступать извне) необходимое количество НОУ; кроме того, будет изолирована часть каскадов, на которых получают материал с более высокой степенью обогащения, чем у НОУ. Такой промежуточный продукт будет собран, помещен на хранение, а затем снова запущен в каскад.

Изменение конфигурации каскада. Этот метод включает в себя изоляцию отдельного каскада и перестройку системы трубопроводов, чтобы оптимизировать каскад для производства ВОУ. Такая перестройка, вообще говоря, увеличит количество ступеней (от нескольких для получения НОУ до примерно двадцати для получения ВОУ) Для подобного сценария надо иметь дополнительное оборудование и обеспечить удаление ВОУ из каскада.

Экспериментальные и сигнальные обогатительные каскады на центрифугах специально изготавливаются так, чтобы на них можно было бы менять конфигурацию. Поэтому они обычно обладают достаточной гибкостью для быстрого соединения центрифуг в каскад., оптимально настроенный на получение ВОУ. Экспериментальный каскад с производительностью 25000 единиц обогащения в год мог бы производить порядка 100 кг ВОУ ежегодно.

Соединение каскадов для получения специализированного каскада, настроенного на ВОУ. Можно изолировать несколько каскадов и соединить их последовательно и параллельно, чтобы получить каскад, настроенный на производство ВОУ. Продукт от первого каскада будет направляться в следующий каскад, пока не образуется ВОУ. Такое изменение конфи-

¹¹ D.Gordon, *Safeguards for Enrichment Plants*, (Upton, NY: Brookhaven National Library? Final Report B&R 50-19-02-03, December 1978); *Enrichment Plants Safeguards Course* (K/ITP-341 Martin Marietta Energy Systems, May 1990).

гурации может потребовать изменения схемы соединения труб. Альтернативой этому может стать перемещение шестифтористого урана (от выходной точки одного каскада до ввода в другой каскад) при помощи баллонов.

ПРИЛОЖЕНИЕ В: ГАРАНТИИ МАГАТЭ ДЛЯ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ

В настоящее время гарантии МАГАТЭ применяются на шести обогатительных предприятиях с центрифугами в Европе, Японии и Китае, а также на вихревой трубе в Южной Африке. Меры предосторожности на обогатительных предприятиях (в основном, на заводах с центрифугами) были разработаны в рамках проекта шести стран (1980-1983 гг.), в котором участвовали заводские операторы в координации с экспертами МАГАТЭ. Инспекции на обогатительных предприятиях начались в 1989 г.

Задачи гарантий МАГАТЭ для обогатительных предприятий сводятся к двум вопросам и включают в себя следующее: 1) обнаружение производства значительных количеств (с содержанием 25 кг урана-235) незаявленного ВОУ; 2) обнаружение хищений значительного количества заявленного НОУ, которое может быть использовано в качестве исходного сырья для подпольной установки по производству ВОУ. Основные элементы гарантий МАГАТЭ связаны с проверкой потоков и балансов материала, с ограниченными выборками и просмотром, с ограниченным числом инспекций без предварительного уведомления и с непрерывным мониторингом степени обогащения.¹²

Проверка потоков материала и баланса включает в себя просмотр отчетов и записей предприятия (транспортные документы, отчеты и журналы о сделках с материалом, квитанции о передаче, записи о взятии анализов в ходе процесса, весовые квитанции, записи о передаче материалов со склада в производство, отчеты о балансе материалов и т.п.). Сюда же входят программа проверки измерений (связанных с весом, взятием образцов и аналитическими замерами) и завершающей деятельности при балансе материалов (включая определение неучтенного материала и его стандартных отклонений, а также результаты анализов).

Не позже, чем раз в год, операторы предприятия проводят физическую проверку ядерных материалов. В этот период инспекторы МАГАТЭ проверяют случайно отобранные изделия из инвентаризационной описи на предмет наличия и совпадения с описанием.

У инспекторов имеется право наблюдать за удалением образцов шестифтористого урана из баллонов или производственных потоков – затем эти образцы направляются в аналитическую лабораторию МАГАТЭ для оценок, сопровождающихся разрушением материала. Инструкторы пользуются автономными измерениями на коллекторах трубопровода каскада и на баллонах с UF_6 (исходное сырье, продукт и отходы), чтобы обнаружить степень обогащения, превышающую 20% по U-235. Раз в месяц инспекторы МАГАТЭ производят также взвешивание баллонов с UF_6 (исходное сырье, продукт и отходы) и выемку образцов из них для проверки содержимого.

Меры блокировки и наблюдения на обогатительных предприятиях могут содержать непрерывное слежение с помощью телекамер для обнаружения несанкционированных операций на площадке с каскадами, а также применение индикаторов вибраций на производственных трубопроводных системах, вентилях, фланцах и баллонах с UF_6 .

Для обнаружения производства ВОУ инспекторы МАГАТЭ проводят не столь частые проверочные посещения (без предварительного уведомления) помещений, где установлены каскады с центрифугами. Эти посещения включают в себя визуальное наблюдение, радиационный контроль и автономные измерения, взятие образцов UF_6 , а также проверку приборов, детектирующих вибрации.

Перед началом инспекций предприятие должно предъявить проектную информацию, куда входят сведения о потоке материалов, мерах предосторожности и схеме предприятия. Затем инспекторы МАГАТЭ производят начальную инспекцию для подтверждения проектной информации и начинают проверку запасов ядерных материалов.

Сравнительно новая методика мер предосторожности, которая применяется на предприятиях «Уренко» с газовыми центрифугами, заключается в применении непрерывного мо-

¹² *Transparency Measures for DOE SNM Production Facilities* (U.S.DOE, December 1993).

нитора обогащения (НМО) для подтверждения того факта, что UF_6 в трубе продукта каскада относится к НОУ.¹³ НМО обнаруживает полную массу U-235 в проверяемой трубе по гамма-излучению с энергией 185.7 кэВ. Давление газа в трубопроводе определяется по поглощению гамма-лучей от внешнего источника. После этого уровень обогащения UF_6 вычисляется на основе двух указанных параметров. НМО затем направляет послание по электронной почте в штаб-квартиры Евроатома и МАГАТЭ для подтверждения своего действующего статуса и отсутствия ВОУ.

¹³ Смотрите ссылку [8] в основном тексте.