

КОНТРОЛИРУЕМОЕ УНИЧТОЖЕНИЕ ЯДЕРНЫХ БОЕГОЛОВОК

Теодор Б. Тэйлор

До сих пор ни одна ядерная боеголовка не была уничтожена в результате соответствующего международного соглашения. В данной статье изучаются возможности контролируемого демонтажа и уничтожения ядерных боеголовок, которые могут потребоваться возможными будущими договорами о ядерном разоружении.

После того, как боеголовки снимаются с ракет, они согласно Договору об уничтожении ракет средней и меньшей дальности могут сохраняться любой из сторон без всяких ограничений.¹ Как сейчас представляется, то же самое будет предусмотрено и в Договоре о 50-ти процентном сокращении стратегических ядерных сил (СТАРТ), переговоры по которому еще продолжаются. Тем не менее, если принять во внимание последние успехи в области кооперативных методов верификации, а также прогресс технических возможностей для детектирования и контроля, имеет смысл не терять надежды на то, что когда-нибудь в будущем потребуются демонтаж ядерных боеголовок, а не только средств их доставки. Эта возможность инициировала ряд исследований.²

Основное внимание в данной статье обращено на процедуры проверки того факта, что боеголовки, предназначенные договором для уничтожения, действительно демонтируются и их компоненты становятся негодными для создания новых боеголовок, а содержащиеся в них расщепляющиеся материалы поступают под международную охрану или же помещаются в захоронения в таком виде, чтобы сделать невозможным их использование для ядерного оружия.

Автор статьи - физик, работавший ранее в Лос-Аламосской национальной лаборатории в качестве конструктора ядерного оружия. Сейчас он независимый консультант, проживает по адресу 3383 Weatherby Road, PO Box 37, West Clarksville, NY 14786, USA.

Статья подготовлена в рамках совместного исследовательского проекта по сокращению вооружений, организованного Комитетом советских ученых в защиту мира, против ядерной угрозы и Федерацией американских ученых.

КОЛИЧЕСТВО ЯДЕРНЫХ БОЕГОЛОВОК В МИРЕ

Оценки современного числа ядерных боеголовок во всем мире, равно как советских и американских ядерных боеголовок разных типов, приведены в Табл.1.³ В нее включены также оценки полных количеств высокообогащенного урана, плутония и трития, содержащихся в этих боеголовках. Считается, что свыше 90% всех материалов принадлежат (грубо говоря, поровну) Соединенным Штатам и Советскому Союзу.⁴ Этим оценкам присущи неопределенности, особенно в отношении количества ядерных материалов в советских боеголовках. Но все же оценки полезны для определения масштаба операций, которые потребуются, чтобы демонтировать значительную часть современного мирового запаса ядерных боеголовок.

Существует всего лишь три фундаментально различных типа ядерных боеголовок. Чисто ядерные боеголовки заимствуют энергию взрыва от быстрых цепных реакций деления. Боеголовки с "форсированным" деле-

нием содержат небольшие количества дейтерия и трития, которые выделяют значительное число нейтронов в реакциях, идущих при температурах ядерного взрыва. Эти нейтроны в свою очередь увеличивают скорость протекания цепных реакций деления и значительно увеличивают полную мощность взрыва по сравнению с тем, что было бы без "форсирования". Для термоядерных боеголовок нужен либо чисто ядерный, либо форсированный ядерный взрыв, чтобы создать необходимые условия для запала достаточного количества термоядерного топлива, ответственного за значительную часть полной мощности взрыва боеголовки.

Веса боеголовок находятся в интервале от 50 кг (и менее) до более, чем 4000 кг; диапазон значений диаметров простирается от менее, чем 20 см, до более, чем 1 м; мощность взрыва минимально составляет много меньше 1 килотонны, а максимально, по меньшей мере, до 20 мегатонн (в единицах эквивалентного количества тринитрогуола).⁵

Имеется несколько типов физической компоновки ядерных боеголовок со своими

Таблица 1
Ядерное оружие в мире

Запасы ядерных боеприпасов			
США			23 400
СССР			33 000
Великобритания			700
Франция			500
Китай			500
Израиль			50 - 200
Южная Африка			?
Пакистан			!
Индия			?
Всего			около 58 000
Ядерное оружие СССР и США			
	США	СССР	
Стратегическое	13 490	13 000	
Ракеты наземного базирования	2 470	7 630	
Ракеты на подводных лодках	5 850	3 970	
Авиабомбы	5 170	1 400	
Нестратегическое	9 910	19 580	
Авиационные бомбы и ракеты	3 500	6 370	
Ракеты наземного базирования	1 805	4 700	
Баллистические ракеты на подводных лодках	0	50	
Крылатые ракеты на подводных лодках	150	400	
Ракеты ПРО и ПВО	385	4 200	
Артиллерийские снаряды	2 010	2 000	
Противолодочное оружие	1 760	1 860	
Мины	300	?	
Запасы ядерных материалов			
Материал	США	СССР	Всего
Плутоний	100 тонн	100 тонн	200 тонн
Высокообогащенный уран	500 тонн	400 - 800 тонн	900 - 1300 тонн
Тритий	100 кг	100 кг?	200 кг?

системами доставки. Боеголовки стратегических ракет наземного и морского базирования обычно установлены на ракетах, хотя в каждый данный момент времени некоторые боеголовки могут храниться отдельно. Другие средства доставки, например, артиллерия, тактическая авиация или корабли, имеют соответствующие хранилища ядерных и обычных боеголовок. Хотя такие различия способны повлиять на детали, относящиеся к физическим средствам идентификации и хранения боеголовок в конкретных зонах развертывания до их демонтажа, исследуемые в данной статье основные принципы

применяются ко всем случаям.

Использование ядерных материалов от демонтированных боеголовок для невоенных целей имело бы скорее символический, а не самостоятельный эффект, если позволить продолжать производство этих материалов для целей создания ядерного оружия. Но подобный символизм может оказаться важным с политической точки зрения, приводя к общественной поддержке ядерного разоружения. Более того, совместная разработка дешевых и контролируемых процедур демонтажа боеголовок и передачи освобождаемых материалов для мирного (а не военного)

использования может ускорить возникновение доверия и верификационных аспектах будущих, более строгих соглашений по разоружению.

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ЛИКВИДАЦИИ БОЕГОЛОВОК

Существует много различных способов, какими можно ликвидировать боеголовки, предусмотренные договором. Они рассматриваются ниже.

1. Каждое государство убирает конкретные боеголовки из районов размещения и периодически представляет оговоренное количество делищихся материалов (плутоний и высокообогащенный уран) инспекционным органам. Эти количества могут быть одинаковыми для США и СССР и меньшими для любого другого участника договора. В другом случае они могут быть пропорциональны полному числу снимаемых боеголовок разных типов. В любом случае, эти величины, скорее всего, должны быть согласованы в основополагающем договоре. Они не должны раскрывать реального содержания расщепляющихся материалов в каждом типе боеголовки и могут соответствовать значительно большему (или меньшему) содержанию таких материалов по сравнению с тем, что представляется на самом деле.

2. Каждое государство удаляет из боеголовок и сохраняет для неограниченного использования все расщепляющиеся материалы и все термоядерное топливо (дейтерий и тритий в виде химических соединений или в чистом виде), а остальные компоненты уничтожаются контролируемым способом.

3. Каждое государство отделяет расщепляющиеся материалы и тритий от остальных компонентов боеголовки. Расщепляющиеся материалы передаются для использования в виде топливных добавок для невоенных ядерных реакторов или же направляются на захоронение в таком виде, который практически не даст возможности переработать их в дальнейшем для военного использования. Оставшиеся компоненты уничтожаются контролируемым способом. Их остатки, включая тритий, могут быть возвращены стране-владельцу (или же могут не возвращаться).

Одна из разновидностей последнего варианта заключается в соглашении о передаче для невоенного использования (или прямо в захоронение) большого количества расщепляющихся материалов, которые были извлечены из боеголовок. Излишек поступал бы из других источников, например, от боеголовок, не предназначенных для демонтажа, или со склада материалов. Установленная минималь-

ные количества могут быть различными для разных стран с учетом разницы полного количества военных материалов в национальных запасах. Цель подобного подхода была бы в том, чтобы помочь обеспечить равные уровни в удалении расщепляющихся материалов (как определенную часть полного национального запаса), а также паритет при ликвидации конкретных типов боеголовок или систем ядерного оружия.

При первом варианте достигается сокращение теоретически максимального числа боеголовок путем вывода из обращения тех важнейших материалов, которые абсолютно необходимы для производства ядерных боеголовок. Его проще всего реализовать технически, поскольку при этом не требуется верификация процесса демонтажа никакой боеголовки. Но этот вариант не дает контролируемой гарантии, что переданы все расщепляющиеся вещества, содержащиеся в боеголовках, или что остальные детали боеголовок уничтожены.

При втором варианте гарантируется уничтожение конкретных боеголовок, но он не касается тех компонентов, которые труднее всего производить, плутония и обогащенного урана.

С технической точки зрения наиболее трудно осуществить третий вариант, но только лишь он гарантирует, что уничтожены конкретные боеголовки и содержащиеся в них расщепляющиеся материалы сделаны непригодными для военного использования. Этот вариант рассматривается более детально не только потому, что он несомненно наиболее привлекателен, но и потому, что он поднимает ряд особенно интересных технических вопросов, на которые необходимо найти ответ при любой сравнительной оценке всех трех вариантов. В данной статье не анализируется упомянутая выше возможность о добавлении расщепляющихся материалов к тому количеству, которое извлекается из боеголовок, подлежащих демонтажу. Ее учет потребует ряда небольших изменений процесса демонтажа, чтобы сделать возможным охраняемое поступление материалов не только от конкретных боеголовок.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЩЕПЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ ОТ БОЕГОЛОВОК В АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

В табл. 2 приведены данные о современной и проектируемой мощности атомных электростанций во всем мире.^{6,7} Более, чем 95% топлива для атомных реакторов составляет уран с низкой степенью обогащения (обычно около 3% урана-235) и естественный уран. Темпы загрузки урана-235 в реак-

Таблица 2
Мощность атомных электростанций
(в миллионах киловатт)

	1988	2000
США	100	111
Франция	49	64
СССР	28	85
Япония	27	50
ФРГ	19	24
Канада	12	16
Великобритания	11	11
Итого	246	361
Прочие страны	51	99
Всего	297	460

ктор на обычной воде с мощностью 1000 МВт (электрической), где топливом служит только уран, составляет около 1000 кг в год. В некоторых реакторах начинает использоваться переработанный плутоний для замены урана-235 (но это не делается в США).⁸ В этих случаях топливо представляет собой смесь окислов урана и плутония, где доля плутония разна: несколькими процентам. Среднегодовая загрузка плутония и урана-235 в такие реакторы составляет около 670 кг урана-235 и 350 кг плутония на 1000 МВт-годов произведенной электроэнергии. Возможны и более высокие концентрации плутония, но они могут вызвать неприемлемые проблемы управления реактивностью. Нужда в реакторном топливе, получаемом из расщепляющихся материалов от боеголовок, будет вероятнее всего касаться урана-235, а не плутония в течение, по крайней мере, десяти лет.

Уран-235, содержащийся в мировом запасе ядерных боеголовок, является потенциальным источником энергии, стоящей свыше 30 миллиардов долларов.⁹ Этот запас вносит около 0.5 цента/кВт-час в общую стоимость электроэнергии, производимой типичными атомными электростанциями. Большую часть этой стоимости можно было бы сэкономить, если использовать высокообогащенный уран от ядерных боеголовок для поставок урана-235, столь необходимого энергетическим реакторам.¹⁰

Можно считать, что плутоний от боеголовок следовало бы накапливать для использования в будущих реакторах, использующих переработанный плутоний, или же в качестве топлива для плутониевых реакто-

ров-размножителей. Однако, эта возможность не рассматривается нами, поскольку плутоний мог бы снова использоваться для создания оружия, если вдруг проявятся послабления на ограничения, установленные договором по разоружению.¹¹

Поэтому в статье предлагается направить плутоний от боеголовок прямо на захоронение и сделать это так, чтобы его было бы очень трудно использовать заново для ядерного оружия. Однако, это предложение не является фундаментальным для тех технических возможностей, которые обсуждаются в данной статье, большая часть их одинаково хорошо применима и в том случае, если бы плутоний от боеголовок использовался как горючее для реакторов.

ЭТАПЫ ПРОЦЕССА УНИЧТОЖЕНИЯ БОЕГОЛОВОК

Общий обзор. Система верификации уничтожения ядерных боеголовок должна гарантировать следующее:

1. Все боеголовки и связанные с ними элементы полезной нагрузки, выделенные страной-владельцем для уничтожения и специально отмеченные, представляют собой именно то, что официально заявлено.

2. Все, что отмечено для уничтожения, действительно разрушено.

3. Нет утечки ядерных материалов от боеголовок, подлежащих уничтожению, для несанкционированного использования.

Эти гарантии должны быть обеспечены без необходимости раскрывать дополнительную информацию о конструкции боеголовок или любого другого связанного с ними обо-

руднения, например, входящих в атмосферу головных частей, ложных целей или защиты от радиации.

Вся информация о конструкции конкретных ядерных боеголовок сейчас засекречена. В нее входит расчетная мощность взрыва и полный вес; вес содержащихся материалов, включая тритий, высокообогащенный уран и плутоний (и не только их одних); размеры, конфигурация и вес всех стандартных компонентов. Такую информацию нельзя с достоверностью получить на основе того, что сейчас опубликовано. Поэтому предполагается, что государства не захотят раскрывать такие данные в процессе демонтажа боеголовок.

Для основных допущения о секретности подразумеваются в приводимых ниже описаниях этого процесса.

Первое заключается в том, что полные количества урана-235, урана-238 и плутония с любым изотопным составом, содержащиеся в смеси нескольких разных типов боеголовок, могут быть рассекречены в ходе будущих переговоров по договору о разоружении. Это позволит установить системы точного подсчета расщепляющихся материалов без раскрытия информации о содержании делищихся веществ в любом конкретном типе боеголовок.

Второе допущение заключается в том, что без ущерба для национальной безопасности можно рассекретить верхние пределы содержания некоторых материалов, весов компонент и размеров, связанных с боеголовками и другими элементами полезной нагрузки, если только эти верхние пределы достаточно велики по сравнению с их фактическими значениями. Тогда каждая страна-владелец боеголовок может маскировать истинное значение тех величин, которые она хочет сохранить в секрете, путем добавления соответствующих элементов в несообщаемых количествах к объектам, подлежащим демонтажу. В качестве примера укажем на возможность подсыпать большие количества песка в каждый контейнер для определенного типа боеголовок без указания о его весе.

Сделав эти допущения, мы можем привести описание верификационной системы, гарантирующей, что все расщепляющиеся материалы в боеголовках учитываются (и становятся доступными для включения в реакторное топливо или для непосредственного помещения в постоянные отстойники) без раскрытия чувствительной информации о конструкции конкретных боеголовок.

Основные этапы процесса уничтожения боеголовок показаны на рис.1. В общих чертах процесс дает следующие гарантии:

1. Все материалы боеголовок содержатся внутри четко определенных границ, начиная с момента загрузки в транспортировочные контейнеры в районах размещения, и вплоть до демонтажа.

2. Все попытки использовать любой компонент боеголовки для несанкционированных целей будут обнаружены.

3. Все основные компоненты боеголовок или других элементов полезной нагрузки разрушаются в том смысле, что для их использования в других боеголовках потребуются изготовление заново.

4. Входящие в состав боеголовки уран-235, уран-238 и плутоний учитываются полностью на выходе из демонтирующего цеха.

5. Еще до начала операции демонтажа с большой вероятностью обнаруживается замена реальной боеголовки на фальшивую, произведенную в зонах расположения ядерного оружия.

"Снятие отпечатков" - вот основная концепция, связанная с обнаружением замены. Она охватывает любую методику для наблюдений индикации того, что содержимое всех контейнеров с боеголовками, которые должны быть, как официально утверждается, одного и того же типа, действительно идентично. Поскольку такие индикаторы не должны раскрывать чувствительную информацию о конструкции боеголовок, может оказаться необходимым так зашифровать их, чтобы можно было достаточно точно сравнивать их показания лишь для обнаружения значительных различий между содержимым контейнеров без раскрытия данных, подлежащих ограниченному использованию.

Этапы процесса и способы достижения указанных выше гарантий кратко описываются в последующих частях статьи.

Маркировка, пломбирование и транспортировка боеголовок в цех для демонтажа. Работы по демонтажу начинаются уже в местах размещения, когда все подлежащие уничтожению ядерные боеголовки (может быть, и с другими сопутствующими компонентами полезной нагрузки, как, например, возвращаемые ступени ракеты и блоки наведения) помещаются в транспортировочные контейнеры. Контейнеры устанавливаются страной-владельцем боеголовок, которая также несет ответственность за удаление боеголовок и других элементов полезной нагрузки из систем доставки ядерного оружия или из складов в районе размещения. Внутренность контейнеров не инспектируется при их прибытии в район размещения оружия, поскольку в них могут содержаться материалы, которые были добавлены заранее для маскировки фактического веса боеголовок или некоторых их компонентов (смотри

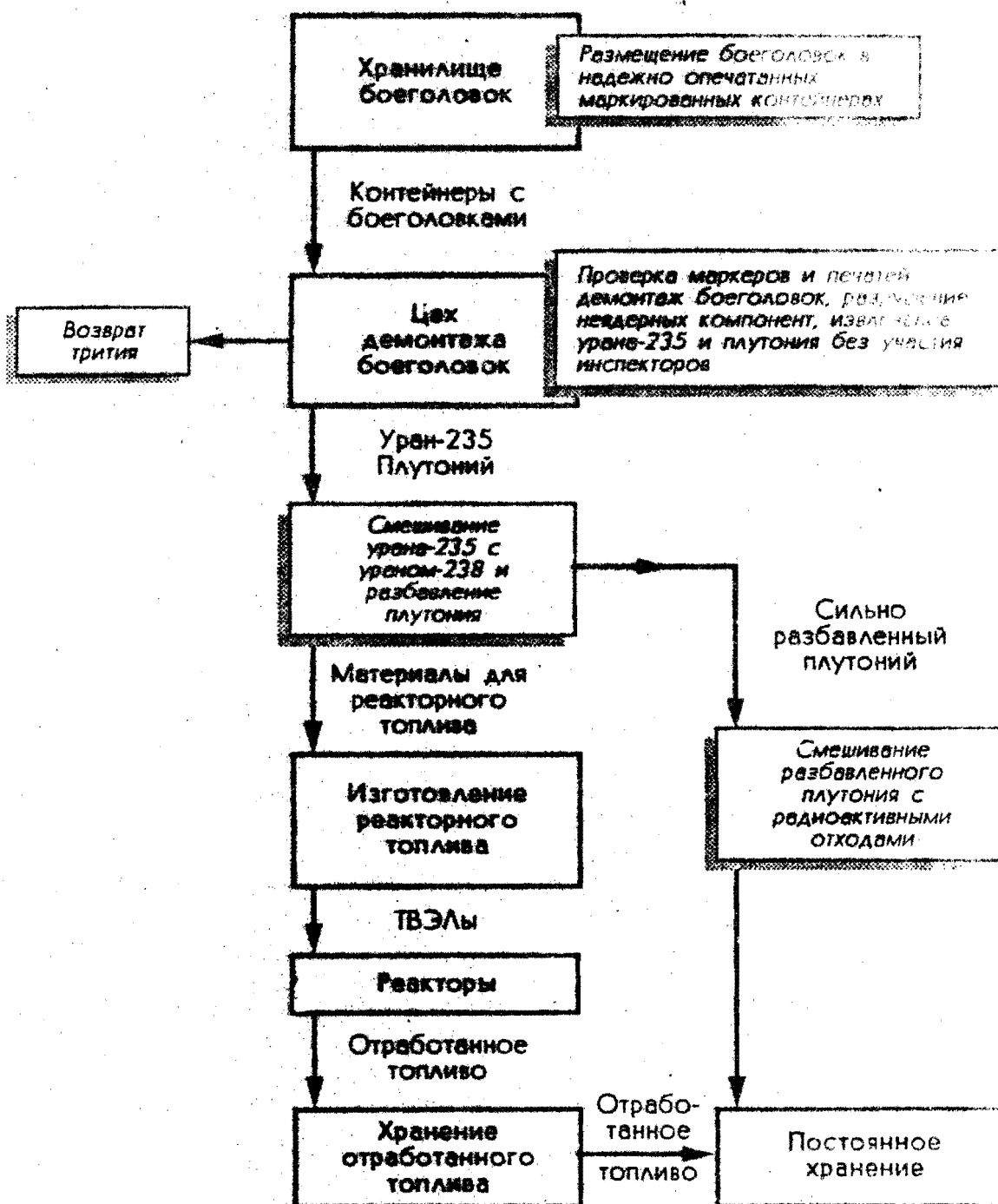


Рисунок 1
Окончательные этапы процесса уничтожения ядерных боеголовок

инже). Перенос полезной нагрузки и боеголовок от систем доставки или из складов в транспортный контейнер проходит под наблюдением инспекторов. Переносимые боеголовки могут быть временно прикрыты, чтобы избежать утечки чувствительной информации об их внешнем виде.

Затем инспекторы маркируют и пломбируют каждый контейнер. Метки нужны для однозначного внешнего отождествления каждого контейнера. Пломбы предназначены для того, чтобы обнаружить любое несанкционированное вскрытие контейнеров.

Среди методов маркировки контейнеров можно указать на микрофотографии участков внешней поверхности или на использование распыляемой краски, фотоснимки которой служат "отпечатками", их вряд ли можно будет скрытно изменить или воспроизвести.

Один из методов пломбирования контейнеров заключается в том, чтобы обертывать их мотками оптического волокна. Освещение одного конца такого мотка приводит к появлению на другом конце сложной и уникальной картины. Если фотографировать эту картину до и после транспортировки, то можно обнаружить попытки снять или разорвать оптическое волокно. Такая методика стандартно использовалась Международным агентством по атомной энергии в качестве охранного средства.¹²

Другой вариант пломбирования связан с использованием точечной сварки для крепления любого чехла, прикрывающего доступ к контейнеру, причем сами швы служат пломбами. Такие пломбы обладают уникальными картинками швов, которые можно фотографировать до и после транспортировки, чтобы обнаружить факт несанкционированного вскрытия контейнеров.¹³

Промаркированные и опломбированные контейнеры с боеголовками, которые могут временно храниться в районах развертывания оружия, транспортируются затем к цеху для демонтажа и уничтожения, находящемуся в стране-владельце боеголовок. В этом цехе инспекторы изучают все промаркированные контейнеры, чтобы убедиться в их целостности. Нет необходимости для инспекторов сопровождать контейнеры в пути, поскольку тщательный осмотр каждого контейнера проводится в районах развертывания оружия и в демонтажном цехе. Как правило, после транспортировки и проверки меток значительное число неоткрытых контейнеров будет поставлено на временное хранение в склад при демонтажном цехе.

Демонтаж боеголовок и других частей полезной нагрузки. Заявившие о владении ядерным оружием страны имеют цеха для

демонтажа устаревших ядерных боеголовок, чтобы извлечь ядерные материалы или другие компоненты для использования в боеголовках нового типа. Возможно, что такие цеха удастся модифицировать, чтобы обеспечить условия, необходимые для контролируемого демонтажа в рамках договора по разоружению, особенно условия сохранения секретности, связанной с конструкцией ряда деталей боеголовки. Это может быть затруднено в таких демонтажных цехах, которые используются для работы как с боеголовками, не попадающими под действие договора, так и с боеголовками, которые попадают под его действие.

Этот вариант нельзя оценить без доступа к детальной информации, которая сейчас закрыта. Но все же можно описать в общем виде этапы предлагаемого процесса внутри цеха по демонтажу боеголовок, а также пути для получения гарантии, что цели демонтажа и верификации эффективно реализуются, независимо от того, используются ли новые цеха или переделанные старые.

Приведенное здесь описание не основывается ни на каком-либо заключении о том, что новые цеха для демонтажа были бы предпочтительнее существующих, даже хотя может оказаться, что последние должны быть значительно изменены для обеспечения соответствующей инспекции. Решение о том, стоит ли реконструировать существующие цеха или же создавать новые, должно предшествовать интенсивные односторонние и двухсторонние оценки альтернатив. Поскольку мы не имеем доступа к описанию существующих цехов, приведем описание гипотетического цеха.

Схематическое описание такого цеха приведено на рис.2. Те его участки, куда инспекторы не допускаются во время операций демонтажа, обозначены двойными линиями. Эти участки можно инспектировать между операциями по демонтажу, чтобы гарантировать отсутствие скрытых запасов ядерных материалов или других чувствительных компонентов.

Весь демонтажный цех или соответствующий участок (если он находится внутри цеха по производству боеголовок) имеют четко определенную границу. Все проходы через эту границу контролируются визуально и при помощи соответствующего оборудования для гарантии того, что границу не пересекли несанкционированные объекты, материалы или люди. Основная функция оборудования, контролирующего входы и выходы, состоит в том, чтобы обнаруживать несанкционированное удаление из цеха расщепляющихся материалов или внесение в цех несанкционированных объектов. Тот

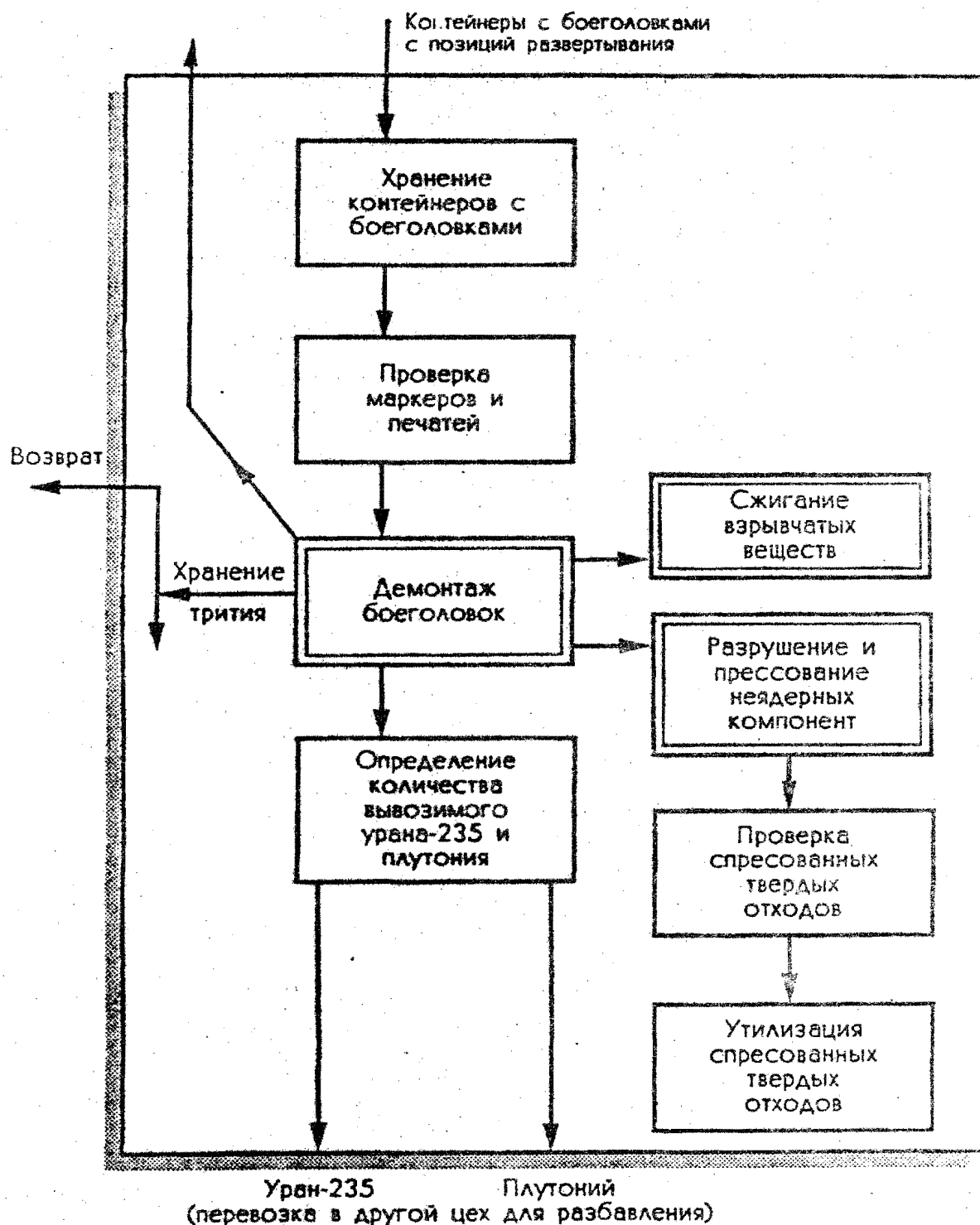


Рисунок 2
Схема цеха для демонтажа ядерных боеголовок

ход, через который поступают транспортные контейнеры с боеголовками, является единственным, предназначенным для поступления расщепляющихся материалов. Единственный выход, предназначенный для удаления расщепляющихся материалов, это тот, через который проходят расщепляющиеся материалы после извлечения их из боеголовки для последующего поступления в соседний цех, где происходит разбавление урана-235 (если это требуется) и химическое разбавление плутония.¹⁴

В цех поступают главным образом промаркированные и опломбированные контейнеры с боеголовками. Сводятся к минимуму все другие поступления, например, производственные материалы или новое оборудование, требуемое для демонтажных операций.

Из цеха главным образом выходит следующее:

1. Точно измеренные количества смеси урана-235 с ураном-238 и плутония (и то, и другое в металлическом виде, но без сохранения характерных для конструкции боеголовки особенностей) для охраняемого переноса в близко расположенную зону, где происходит их разбавление.

2. Тритий, полное количество которого неизвестно инспекторам, подлежащий возвращению стране-владельцу или хранению под охраной.

3. Небольшие контейнеры с радиоактивными веществами, которые использовались для возбуждения цепной реакции в боеголовке или для других функций, не связанных непосредственно с выделением энергии взрыва.

4. Спрессованные остатки всех остальных компонентов боеголовки или других элементов полезной нагрузки.

Контейнеры, предназначенные для повторного использования, также следует рассматривать в качестве выходящего отработанного продукта. После того, как содержимое контейнеров изымается для демонтажа, их следует взвесить и проинспектировать, чтобы убедиться, что они пусты. Стране-владельцу после этого разрешается поместить в контейнеры некоторое неизвестное количество какого-нибудь обычного вещества типа воды или песка, чтобы замаскировать полный вес боеголовки. Затем контейнеры пломбируются инспекторами (но не взвешиваются) и сканируются внешним радиационным источником, чтобы убедиться в отсутствии внутри них урана или плутония.¹⁵ Контейнеры остаются запломбированными до наружного осмотра в районе размещения оружия, после чего они открываются для заполнения новыми боеголовками.

Выход твердых и жидких отходов из

демонтажной зоны сводится к минимуму и они должны подвергаться детальной визуальной и приборной инспекции перед тем, как покинут зону. Радиационное сканирование отходов от каждой партии демонтированных боеголовки станет гарантией того, что в этой куче обломков нет заметных количеств расщепляющихся материалов.

Если содержавшаяся в боезарядах взрывчатка сжигается, то вторичным продуктом оказывается в основном газ. Он может быть выпущен из зоны после продувки через соответствующий очиститель для удаления вызывающих возражения загрязнений.

К минимуму сводятся и машины, пересекающие внешнюю границу цеха.

Это можно осуществить, если использовать грузоподъемники для переноса контейнеров с боеголовками, а также других материалов или оборудования в огороженные места внутри цеха, где им полагается быть. Аналогичные подъемники могут использоваться для всей конечной продукции, так что выезжающие из зоны машины не нуждаются в инспекции.

Компоненты боеголовки демонтируются гражданами страны-владельца внутри цеха, подчиняющегося принципу сохранения содержимого, то есть, все выходы из цеха находятся под наблюдением. Взрывчатка и другие неядерные компоненты уничтожаются в соответствующих местах внутри охраняемой зоны. Уран и плутоний трансформируются (без инспектирования этого процесса) в такой вид (например, в металлические "пеллеты"), при котором не сохраняются конструктивные особенности боеголовки. Требуется соответствующее оборудование для плавления или растворения расщепляющихся материалов и малообогащенного урана из боеголовки, а также для стандартных процедур по определению критичности и обеспечению безопасности, используемых на предприятиях по обработке расщепляющихся материалов.

Точные измерения количества и изотопного состава возвращенных урана и плутония производится инспекторами для получения начальных данных, требуемых при точном учете материалов, чтобы уран можно было в дальнейшем включить в реакторное топливо, а плутоний захоронить.

На начальных этапах ядерного разоружения весь тритий может быть возвращен стране-владельцу, чтобы избежать необходимости налаживать производство трития для компенсации его радиоактивного распада (с периодом полураспада 12,5 лет) в боеголовках, еще не попавших под действие договора о разоружении. В этом случае количество трития, изъятого из боеголовки, не

должно стать известным инспекторам, поскольку даже для смеси боеголовок разных типов полное содержание трития, как кажется, будет особо чувствительной информацией. В другом варианте тритий может быть помещен под охрану для возможного использования в будущих термоядерных реакторах или же просто для распада. При этом может оказаться необходимым, по крайней мере, со временем сообщить инспекторам количество трития.

Выносимые из цеха контейнеры с тритием будут подвергаться проверке на отсутствие расщепляющихся материалов.

Следует отделить от других компонентов радиоактивные материалы, которые используются в боеголовках для нейтронных генераторов, инициирующих цепные реакции деления. Их следует рассматривать как небольшие количества высокорadioактивных отходов и помещать на захоронение в соответствующие отстойники. В целях контроля за наличием расщепляющихся материалов будут подвергаться сканированию перед удалением из цеха и сравнительно небольшие транспортные контейнеры.

Меры по предупреждению подмены реальных боеголовок фальшивыми. Только что изложенные процедуры могут гарантировать, что объекты, официально заявленные как боеголовки, демонтированы, их компоненты разрушены и все содержащиеся в них расщепляющиеся материалы учтены. Но все же сами по себе эти процедуры не могут дать полную уверенность в том, что еще до начала операции демонтажа в районе развертывания оружия реальные головки не были заменены на фальшивые.

Любой из описанных ниже объектов может быть выдан за реальную боеголовку перед началом операций маркировки и пломбирования:

1. Объекты, во всех отношениях идентичные реальным боеголовкам, за исключением того, что часть высокообогащенного урана или плутония (или даже все количество), обязанных быть в реальной боеголовке, заменяется на естественный или обедненный уран. Цель такой подмены - утаить заметное количество расщепляющихся материалов от демонтажа. Эти фальшивые боеголовки могут оказаться способными на ядерный взрыв, а могут быть и неспособными в зависимости от количества утаенных расщепляющихся материалов.

2. Объекты, которые могут очень близко напоминать реальные боеголовки (или даже не столь близко). В любом случае их гораздо легче изготовить, чем реальные боеголовки, и они не столь чувствительны к допускам. Такие объекты могут содержать расщепляю-

щиеся материалы, но в значительно меньших количествах, нежели в реальных боеголовках. Такая фальшивая боеголовка может (или не может) произвести ядерный взрыв. Цель замены способствовать несанкционированному скрытию укомплектованных реальных боеголовок.

3. Укомплектованные боеголовки, снятые с вооружения и содержащие гораздо меньше расщепляющихся материалов, чем подлежащие уничтожению боеголовки.

Можно предложить ряд мер, которые помогут проконтролировать отсутствие таких подмен, не раскрывая никакой секретной информации о конструкции боеголовок:

1. Конкретные боеголовки маркируются и пломбируются как можно скорее, начиная с боеголовок в нескольких районах размещения, случайно выбранных из числа районов, указанных в договоре. Между выбором каждого района и прибытием инспекторов должно пройти очень мало времени (например, меньше 24 часов). И тогда полную подмену всех боеголовок придется завершать до начала первых операций по маркировке и пломбированию.

2. Использование верификационной методики, обнаруживающей значительные различия между содержимым любых контейнеров (особенно в отношении количества расщепляющихся веществ) с боеголовками, которые, как заявлено, должны быть одного и того же типа.

3. Инспекторы измеряют с хорошей точностью полное количество и изотопный состав смесей плутония и урана, извлеченных из партии, которая содержит более одного типа боеголовок, в каждой кампании по демонтажу. Использование этой процедуры потребует, чтобы было рассекречено полное количество плутония, урана-235 и урана-238, извлекаемого из нескольких (например, трех) типов боеголовок. Трудно увидеть, как эта мера может раскрыть информацию, которая критична для национальной безопасности любой страны, заявившей о владении ядерным оружием.

4. Несколько запломбированных контейнеров с боеголовками каждого типа выделяются по случайной выборке для хранения на неопределенное время. Это сохранит факт выполнения (или невыполнения) договора до того времени, когда будет разработана более эффективная методика верификации. Современная неуверенность в таких возможностях может служить хорошим фактором, сдерживающим обман в рамках текущего договора. Более того, эти отобранные боеголовки могут быть использованы как образцы для очень подробной операции проверки "отпечатков". Эти отпечатки представляют

собой зашифрованную информацию, хранящуюся в системе обработки данных и защищенную от внешнего доступа. Единственная информация на выходе показывает результаты сравнения без раскрытия каких-либо первичных данных.¹⁶ Число отображенных для этих целей боеголовок могло бы составлять 2-3 для каждого типа.

5. Возможность "поднимать шум" (сообщение о нарушении договора ответственным инспекторам гражданами той страны, правительство которой даст приказ о нарушении) это сдерживающий фактор, который не поддается количественной оценке. Она может становиться все более важной по мере того, как всеобщие преимущества ядерного разоружения станут более очевидными и рекламируемыми во всем мире. Нет необходимости придумывать или оценивать способы, как можно сохранить анонимность отдельных лиц или групп, заявляющих о нарушениях.

6. Ни одна из этих мер не приведет к утечке информации ограниченного распространения особенно в том случае, если каждой стране-владельцу разрешается добавлять неизвестное количество обычного материала (например, вода или песок) в контейнеры с боеголовками, чтобы замаскировать веса боеголовок или некоторые аспекты их состава. Не следовало бы позволять использовать для этих целей уран в связи с тем, что включение в процесс неизвестного количества урана сделает недействительной проверку независимых оценок полного количества высокообогащенного урана.¹⁷ Полный вес и конфигурация любой такой добавки должны оставаться одинаковыми для всех боеголовок данного типа, чтобы гарантировать идентичное содержимое всех полностью загруженных контейнеров для каждой боеголовки.

Снятие отпечатков с контейнеров, содержащих боеголовки. Как уже указывалось ранее, решающую роль для гарантирования того факта, что реальные боеголовки не заменены на фальшивые, будут играть такие измерения, которые обнаруживают различия между содержимым контейнеров с боеголовками, официально объявленными принадлежащими к одному и тому же типу, без раскрытия инспекторам секретной информации. Мы используем термин "отпечатки пальцев", подразумевая всю совокупность таких измерений.

Существует множество возможностей для подобных измерений. Они распадаются на две категории: внешние измерения, проводимые перед вскрытием контейнеров с боеголовками, и измерения остатков от процесса демонтажа. В любом случае, сначала

надо договориться о допустимых разбросах измеряемых величин, которые номинально относятся к одному и тому же типу боеголовок, поскольку в чем-то такие измерения могут варьироваться даже между боеголовками одного типа. В качестве примера можно указать на изотопный состав урана и плутония, а также на вес и конфигурацию термоядерных и запальных компонентов.

Среди элементов процедуры "снятия отпечатков" укажем на следующие:

1. Полный вес содержимого каждого контейнера с боеголовкой перед вскрытием. Этот вес определяется как разница между весом загруженного контейнера до его вскрытия и весом пустого контейнера (после того, как были проинспектированы его внутренности, но еще до того, как страна-владелец внесла в него неизвестное количество маскирующих материалов). Устанавливается, что полный вес содержимого всегда должен быть одинаков (в согласованных пределах) для одного и того же типа боеголовок. Это не предотвращает возможности установки фальшивых боеголовок и изменения веса добавляемого материала для сохранения полного веса.

2. Точные измерения полных количеств и изотопного состава плутония и урана, извлеченных из каждой партии демонтируемых боеголовок, содержащей известное число некоторых конкретных типов боеголовок. Однако изотопный состав (особенно для плутония) может значительно варьироваться от боеголовки к боеголовке даже внутри одного и того же их типа. Поэтому необходимо предварительно договориться о допустимом разбросе усредненного изотопного состава между партиями боеголовок.

В качестве основы для снятия отпечатков в статье выбраны измерения, относящиеся к конечному количеству расщепляющихся материалов. Они обнаружат использование фальшивых боеголовок, содержащих меньше плутония, урана-235 или урана-238, чем в реальных, если только фальшивыми боеголовками не заменены все реальные еще до того, как в районах размещения ядерного оружия началось пломбирование. Хотя при таких измерениях совсем не обязательно обнаруживать различия между неядерными компонентами боеголовок, которые, как считается, относятся к одному и тому же типу, существует определенный риск, что подобные нарушения в конечном итоге будут обнаружены на основе методики снятия отпечатков, которая может быть разработана для зондирования отобранных по случайному критерию запломбированных контейнеров, помещенных под охрану.

Среди многих других методов снятия

отпечатков, которые могут быть разработаны и использоваться в будущем, есть целый класс измерений, выдающих исключительно детальную первичную информацию о конфигурации, составе и массе материалов в боеголовках. Эта первичная информация не должна быть доступна инспекторам, она вводится в заплombированную систему обработки данных, которая будет выдавать перемешанные данные, не раскрывающие закрытой информации, но указывающие на значительные различия между объектами, содержащимися в контейнерах. Примерами таких измерений служат распределение веса вдоль отдельных осей и сканирование с высоким разрешением внешними источниками рентгеновских и гамма-лучей или нейтронов.

Проведенный автором предварительный анализ показал, что пассивное радиационное сканирование вряд ли приведет к надежному снятию отпечатков. Наружные потоки гамма-лучей или нейтронов от спонтанного деления в боеголовках одного и того же типа, но с разным изотопным составом урана или плутония, обладают заслуживающими доверия различиями. Но они могут натолкнуть на предположение о значительном различии содержимого контейнеров, даже если контейнеры содержат то, что им следует содержать.

Удаление урана и плутония, изъятых из боеголовок. После того, как инспекторы проведут точные измерения масс и изотопного состава, уран и плутоний будут перенесены из демонтируемого цеха в соседний цех для дальнейшей обработки, чтобы подготовить их к окончательному размещению. Этот цех также будет окружен оградой.

Поступившая из цеха по демонтажу боеголовок смесь урана-235 и урана-238 разбавляется по необходимости обедненным или естественным ураном для получения урана с трехпроцентным содержанием урана-235, который можно использовать в энергетических реакторах на обычной воде. Для использования в тяжеловодных или графитовых реакторах (где топливом служит естественный уран), ответственных за небольшую часть мирового производства атомной электроэнергии, уран-235 можно было бы разбавить обедненным ураном (содержащим около 0.3% урана-235) до концентрации порядка 0.7%. В любом случае это растворение делает уран неспособным к поддержанию цепной реакции на быстрых нейтронах, для чего требуется минимальное обогащение составляет около 6%.

В процессе подготовки к невозвратимому удалению плутоний будет значительно разбавлен такими веществами (как окислы обедненного или естественного урана), ко-

торые, по крайней мере, столь же трудно растворить и затем отделить, как и типичные составляющие свежего реакторного топлива. Перед окончательным размещением разбавленный плутоний будет также перемешан с радиоактивными отбросами, имеющими высокий уровень активности.

В отличие от урана-235 у плутония нельзя изменять изотопный состав, чтобы сделать его непригодным для ядерных боеголовок после химического отделения от разбавителей. Все изотопы плутония способны поддерживать цепную реакцию на быстрых нейтронах.¹⁸ Наилучшим изотопом плутония для ядерных боеголовок является плутоний-239. Нежелательны значительные концентрации плутония-240 (больше, чем 6% от содержания плутония-239), поскольку этот изотоп делится спонтанно и испускает нейтроны, которые могут вызвать преждевременную цепную реакцию в оружии еще до того, как оно в процессе сжатия достигло оптимальной конфигурации.

Но все же можно создать эффективные и надежные ядерные вооружения, включая термоядерные боеголовки, с плутонием, содержащим значительно больше 6% плутония-240.¹⁹ Именно поэтому необходимы химическое разбавление, смешивание с высоко радиоактивными отбросами и практически невозвращаемое размещение плутония на значительной глубине в безопасных геологических формациях, чтобы гарантировать практическую невозможность использования плутония от ядерных боеголовок после его захоронения для производства новых ядерных боеголовок.

ВОЗМОЖНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦЕХА ПО ДЕМОНТАЖУ БОЕГОЛОВЕК

Возможные параметры крупного американского цеха по демонтажу боеголовок приведены в табл.3. Его производительность, равная восьми боеголовкам в день, близка к той, которая скорее всего понадобится для реализации будущих договоров о разоружении. Достаточно сказать, что он был бы способен демонтировать все боеголовки США менее чем за 10 лет при шестидневной рабочей неделе. Основные характеристики соответствующего советского цеха могут оказаться очень похожими.

Среднее ежедневное производство урана-235, плутония и трития составит в среднем 20 кг, 4 кг и 4 г, соответственно, на каждую боеголовку (см. табл.1).

Средний вес боеголовки, находящейся в настоящее время на вооружении в США, составляет около 350 кг.²⁰ Это соответствует среднему ежедневному поступлению в

Таблица 3
Предварительные характеристики предприятия
для демонтажа американских ядерных боеголовок

Мощность Средний выход урана-235 Средний выход плутония Средний выход трития	8 боеголовок в сутки (25 000 за 10 лет) 160 кг/сутки 32 кг/сутки 32 г/сутки
Объемы хранения (в течение 100 суток)	
Боеголовки Уран-235 Плутоний Тритий	800 (в контейнерах) 16 000 кг 3 200 кг 3,2 кг

цех 2800 кг полного веса боеголовок. Вряд ли лес других объектов (например, элементов возвращаемой ступени и блоков управления) превысит вес боеголовок. Дополнительные материалы, помещаемые в контейнеры для маскирования веса боеголовок, также могут присутствовать в количествах, близких к 2800 кг, на каждый день. Таким образом, каждый день из контейнеров номинально будет выгружаться около 8400 кг.

Если предположить, что половину веса боеголовки составляет взрывчатка, то ее соответствующее поступление равно 1400 кг ежедневно. Большая часть остатков от ее сгорания будет в виде газовых продуктов, которые после очистки выпускаются в атмосферу.

Оставшиеся, примерно, 7000 кг ежедневных поступлений неядерных материалов и термоядерного топлива (без трития) можно разделить на ценные материалы (например, дейтерий и бериллий), которые подлежат возвращению стране-владельцу, и отходы для захоронения. В любом случае все эти материалы прессуются в плиты со средней плотностью около 4 г/см³, так что полный объем их составит 1,8 м³ ежедневно. Разумный размер плиты соответствует площади в 1 м при толщине 4 см, что соответствует среднему весу около 160 кг. Каждая из этих плит (всего их около 40) при горизонтальной установке может быть легче просканирована гамма-лучами и нейтронами для получения уверенности в том, что в ней нет расщепляющихся материалов или урана-238.

Приведенная в табл.3 емкость хранилища боеголовок и ядерных материалов соответствует ежедневному объему производства. Это грубая оценка, делающая попра-

вки на остановки и перебои в работе.

При полном ежедневном поступлении материалов для обработки на уровне менее 10 тонн цех по демонтажу аналогичен предприятию по производству топлива для коммерческих ядерных реакторов, работающих на смеси окислов урана и плутония. Капитальные затраты на подобные предприятия составляют несколько миллиардов долларов. Поскольку ни один из конечных продуктов цеха по демонтажу боеголовок не является компонентом, изготовленным с напряженными допусками, кажется разумным предположение о том, что капитальные затраты на новый цех для демонтажа будут ниже.

Затраты на зарплату для персонала такого цеха вряд ли будут превышать 10-20 миллионов долларов в год. Оплата труда ста основных сотрудников при полной рабочей неделе, если исходить из годовой зарплаты 100 000 долларов (с учетом накладных расходов), составит 10 миллионов долларов в год.

Поэтому вряд ли полная стоимость демонтажа всех боеголовок в мире, в результате которого расщепляющиеся материалы будут использованы в виде ядерного топлива или направлены в захоронения, превысит несколько миллиардов долларов.

РАСЧЕТЫ ВРЕМЕНИ

Возможно, что детальное конструирование и создание цехов, требуемых для уничтожения большого числа боеголовок, могло бы стать временным регулятором, определяющим, когда фактически может начаться процесс полной ликвидации боеголовок.

Если договор, предусматривающий уни-

чтожение значительного количества боеголовок, вступит в силу до того, как будут существовать необходимые средства обслуживания, можно пометить боеголовки и поместить их в пломбируемые контейнеры, а затем поставить на хранение в ожидании завершения создания цехов по демонтажу.

В любом случае оптимизм в отношении новых договоров, предусматривающих ликвидацию многих боеголовок, должен сопровождаться четким пониманием срочности мер для уничтожения боеголовок. Если будет признана неподходящей переделка существующих демонтажных цехов в США и СССР, может оказаться необходимым конструировать и сооружать новые цеха.

СЛЕДУЮЩИЕ ЭТАПЫ

Представленные в этой статье концепции и аналитические исследования указывают на то, что можно с высокой степенью уверенности и без раскрытия национальных секретов, связанных с конструкцией боеголовок, проконтролировать уничтожение конкретных ядерных боеголовок, определенных договором о ядерном разоружении. Однако, многое еще остается сделать, чтобы установить детали процедур для достижения этой цели — предоставить тем самым основу для формальных согласованных протоколов и для средств, обеспечивающих их выполнение.

Поэтому предлагаются два следующих последовательных этапа.

Первый заключается в организации официальной совместной американо-советской рабочей группы, чтобы проработать и оценить конкретные процедуры и соответствующие приспособления для контролируемой ликвидации ядерных боеголовок. Работе этой группы следовало бы дать высокий приоритет со стороны обоих государств и не связывать ее с переговорами о будущих договорах.

Второй этап связан с проведением совместного американо-советского показа тех методик, которые установлены на первом этапе. Ожидается, что в этот показ войдут некоторые натурные испытания элементов систем для демонтажа боеголовок и для верификации. Для проведения начальных испытаний можно использовать несекретные макеты боеголовок. За ними должны последовать полномасштабные системные испытания с использованием ядерных боеголовок обеих стран.

Результаты двух этих этапов могли бы затем войти в согласованные протоколы по верификации новых договоров.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Договор о ликвидации ракет средней и меньшей дальности, протоколы по верификации, декабрь 1987.
2. Например, J. Taylor, J. Barton and T. Shea, "Converting Nuclear Weapons to Peaceful Uses", Bulletin of the Atomic Scientists, February 1985; J. de Montmollin, "Some Considerations Involving Verification of New Arms Control Agreements", неопубликованный отчет, декабрь 1985г; and "Value of Fissile Material from Dismantlement Warheads as Reactor Fuel", неопубликованный отчет, июнь 1986 г; and E. Amaldi, U. Farinelli, and C. Silvi, "On the Utilization for Civilian Purposes of the Weapon-grade Nuclear Material that May Become Available as a Result of Nuclear Disarmament," report of the Accademia Nazionale dei Lincei, Rome, 23-25 June 1988.
3. R.S. Norris and W.M. Arkin, eds., "Nuclear Notebook," Bulletin of the Atomic Scientists, June 1988 and July/August 1988. В оценках числа советских боеголовок гораздо больше неопределенностей, чем числа американских боеголовок. Оценки числа израильских боеголовок основаны на откровениях М. Вануны в лондонской газете "Санди Таймс" от 5 октября 1987 г.
4. F. von Hippel, D.H. Albright, and B.G. Levi, "Fissile Materials in US Warheads and Plutonium in Soviet Warheads," Quantities of Fissile Materials in US and Soviet Nuclear Arsenals (Princeton: Princeton University, July 1986), PU/CEES Report No. 168. Я предположил, что урана-235 и трития в советском арсенале столько же, сколько в американском. Любое из этих предположений (или оба) может быть далеким от истины.
5. Следует из книги US Nuclear Forces and Capabilities (Cambridge, Massachusetts: Ballinger, 1984), T.B. Cochran, W.M. Arkin, and M.M. Hoenig, eds.
6. Данные по производству электроэнергии в западных странах взяты из специального отчета The Nuclear Power Plant Capacity of the Western World, (Alzenau, Germany, NUKEM, April 1987).
7. Данные по производству электроэнергии в СССР, Восточной Европе и Китае взяты из статьи "World Survey," Nuclear Engineering International, June 1987, pp.28-39.
8. D. Albright, "Civilian Inventories of Plutonium and Highly Enriched Uranium," in P. Leventhal and Y. Alexander, eds., Pre-

venting Nuclear Terrorism (Lexington, Massachusetts: Lexington Books, 1987), pp.294-297.

9. Мы оцениваем оценку стоимости урана на допущении, что стоимость урана-235 (в уране с обогащением ураном-235 до 3%), который предстоит использовать в качестве топлива для атомных электростанций во всем мире в течение следующего десятилетия, составляет около 38 тыс. долларов за кг. Из этой суммы 19 тыс. долларов объясняется принятой ценой в 66 долларов за кг окиси необогащенного урана U_3O_8 ; 2000 долларов стоит преобразование окиси в шестифтористый уран, который используется в процессе обогащения, в расчете на кг; и цена обогащения одного кг до 3% (при концентрации урана-235 0,3% в обедненных остатках) составляет 17 000 долларов. Стоимость обогащения равна 150 долларов за разделительную ячейку. Эти цены сопоставимы со средними ценами, недавно опубликованными в NUKEM Market Report of the Nuclear Cycle (Alzenau, Germany: NUKEM, April 1987). Требования для разделительным процессам для обогащения урана как функции степени обогащения конечного продукта и остатков взяты из Standard Table of Enriching Services (Washington DC: DoE).
10. Предполагается, что использование атомной энергии в мире будет продолжаться в течение нескольких десятилетий и темпы потребления будут, по крайней мере, умеренно расти. Если же по каким-то причинам это будет не так и международный рынок не сможет поглотить уран-235 от ядерных боеголовок, демонтированных в соответствии с радикальным ядерным разоружением, то этот уран можно сделать бесполезным для ядерной взрывчатки путем разбавления естественным или обедненным ураном.
11. Оцениваемый всемирный запас оружейного плутония составляет около 20% от запаса оружейного урана-235. Поскольку изготовление производящего плутоний топлива стоит гораздо больше, чем топлива, состоящего полностью из урана, ценность килограмма плутония в качестве сырья для производства реакторного топлива меньше, чем для урана-235.
12. W.A.Higinbotham, Brookhaven National Laboratory, частное сообщение, 1988.
13. A.De Volpi, Argonne National Laboratory, частное сообщение, 1988.
14. Для обзора по контролю входа/выхода смотри статью D.Albright, "Portal Monitoring for Detecting Fissile Materials and Chemical Explosives" in Reversing the Arms Race (Gordon and Breach, New York, NY, 1990), F.von Hippel and R.Z.Sagdeev eds.
15. С.Феттер и др. "Обнаружение расщепляющихся материалов", "Наука и всеобщая безопасность", т.1, N3, 1991. Скорее всего, наилучший подход связан с использованием внешнего импульсного источника нейтронов с энергией 14 МэВ, которые инициируют деления в плутонии и уране, и наблюдением запаздывающих нейтронов деления или гамма-лучей, которые испускаются объектом, подвергаемым сканированию.
16. R.L.Garwin, частное сообщение, март 1989 г.
17. Такие оценки можно получить на основе опубликованных данных или допущений о работе системы разделительных ячеек в процессе обогащения урана, если известны степени обогащения конечного продукта и остатка. Возможно, что когда-нибудь в будущем после дальнейших публикаций новых данных такого рода подобные оценки станут более точными, нежели они могут быть в настоящее время. Смотри статью F.von Hippel, "Controlling Nuclear Warheads," in Reversing the Arms Race, see [14].
18. J.C.Mark, T.B.Taylor, E.Eyster, W.Maraman, and J.Wechsler, "Can Terrorists Build Nuclear Weapons?", in Preventing Nuclear Terrorism, see [8].
19. Там же.
20. Согласно данным работы [5].