

ЭНЕРГЕТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

No.1 1996 Издание IEER

ПЛУТОНИЙ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Аржун Макхиджани

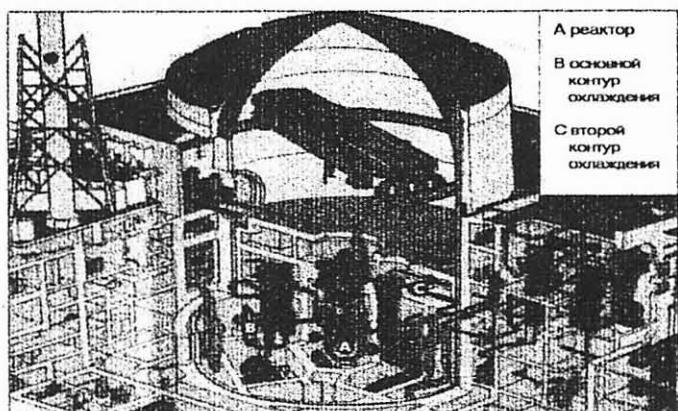
В течение последних нескольких лет ликвидация избыточных ядерных боезарядов привела к образованию в Соединенных Штатах и России значительных запасов плутония и высокообогащенного урана (ВОУ). Эти запасы способствовали возобновлению глобальных дебатов об использовании плутония в качестве источника энергии и предоставили новые аргументы в пользу продолжения поддержки реализуемых плутониевых проектов. Данная статья анализирует основные факты относительно производства плутония и дает оценку стоимости и технических аспектов данной проблемы.

Основные факты о ресурсах урана и плутония

С точки зрения практического использования уран-235 является единственным существующим в природе расщепляющимся материалом, который способен поддерживать цепную реакцию и выступать в качестве топлива ядерных реакторов. Однако уран-235 составляет только около 0,7 процентов урановой руды. Почти вся остальная часть встречающегося в природе урана представлена другим изотопом - ураном-238, не способным поддерживать цепную реакцию.

Хотя уран-238 и не является расщепляющимся материалом, в ядерном реакторе он может быть преобразован в расщепляющийся плутоний-239. Данное обстоятельство позволяет сторонникам ядерной энергетики рассматривать уран-238 в качестве ключевого фактора долгосрочной перспективы развития ядерной энергетики. Действительно, реакторы могут быть сконструированы таким образом, чтобы производить из урана-238 больше расщепляющегося материала в форме плутония, чем потреблять в процессе производства энергии. Такие реакторы получили наименование "реакторы-размножители", а уран-238 - "исходное сырье".

(См. стр. 3)



От редактора

РЕКОМЕНДАЦИИ IEER В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ПЛУТОНИЕМ

Японский реактор-размножитель "Монджу" в разрезе. Два контура охлаждения содержат натриевый охладитель. В декабре 1995 г. во втором контуре произошла утечка натриевого охладителя.

Утилизация мировых запасов плутония представляет собой острую и назревшую проблему. В то время как многие говорят о репроцессинге (радиохимической переработке топлива) и использовании плутония в качестве топлива реакторов АЭС, IEER полагает, что остекловывание, а не репроцессинг, является наилучшим методом утилизации плутония. В настоящее время США и Россия ликвидируют тысячи ядерных боезарядов, но они так и не смогли выработать эффективной стратегии по утилизации избыточного оружейного плутония. Одновременно, Франция, Великобритания, Япония, Россия и Индия продолжают накапливать запасы нового энергетического плутония путем переработки отработавшего топлива реакторов АЭС (выделения плутония и урана из топлива, облученного в ядерных реакторах). Этот плутоний может быть использован и при производстве оружия. Хотя Соединенные Штаты и не занимаются репроцессингом в военных или коммерческих целях, они, тем не менее, уступают давлению с целью продолжения финансовых вливаний в военные ядерные объекты.

(См стр. 12)

В номере

Роль атомной энергии в мировой энергетике и производстве электроэнергии.....	6
Сопоставление испытываемого топлива и атомной энергии.....	10
Аннотированная библиография.....	15

ПРОГРАММА IEER «ОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Со времени своего создания в 1985 г. Институт исследований проблем энергетики и окружающей среды (IEER) обеспечивал ясную и точную информацию, анализ и подготовку частных лиц и организаций в Соединенных Штатах. Широко признанная комплексность проводимого Институтом технического анализа упрочила нашу репутацию как ключевого источника по ядерным вопросам для заинтересованных лиц. Наши доклады по самым различным проблемам - от экологического ущерба при производстве ядерного оружия и утилизации плутония до нераспространения и вопросов разоружения - высоко оценивались политическими деятелями, активистами общественных организаций, представителями академических кругов и журналистами.

В начале 1996 г. IEER приступил к реализации глобальной программы "Опасности ядерных материалов". В ее рамках был издан русский перевод нашего доклада "Ядерные материалы сквозь тусклое стекло?". Этот новый проект призван обеспечить международной общественности доступ к точной и понятной информации, которая стала основой нашей репутации в Соединенных Штатах. Посредством программы для средств массовой информации, включающей в себя проводимые в Вашингтоне брифинги для иностранных корреспондентов, а также телеконференции для журналистов повсюду в мире, мы надеемся привлечь большее внимание общественности к ядерным и энергетическим вопросам. Наш первый washingtonский брифинг, состоявшийся в апреле 1996 г., был посвящен возможным совместным российско-американским мерам по сокращению угроз, порождаемых запасами плутония и высокообогащенного урана (БОУ).

В рамках проекта отдельные материалы IEER будут переводиться на русский, французский, китайский и японской языки. Некоторые из наших материалов уже переведены с английского на иностранные языки. Начиная с конца 1996 г. мы также планируем распространять переведенные статьи и рефераты докладов по международной электронной почте. Кроме того, мы расширим наши материалы, доступные по сети World Wide Web, в том числе и на иностранных языках. Путем установления контактов с журналистами и активистами общественных организаций на их родных языках IEER стремится обеспечить общественность инструментами эффективного решения проблем, связанных с ядерными материалами и технологиями. Информированная общественность может оказывать давление на нынешние и потенциальные ядерные государства с целью остановить производство ядерных оружейных материалов и развитие технологий, которые могут обострить проблемы распространения.

Бюллетень "Энергетика и безопасность" представляет собой основу проекта "Опасности ядерных материалов". Частично он смоделирован по образцу уже имеющегося нашего бюллетеня "Science for Democratic Action", распространяемого преимущественно в Соединенных Штатах. Поскольку наша цель состоит в обеспечении доступности информации для читателей на их родном языке, "Энергетика и безопасность" публикуется на нескольких языках. Его первое издание распространяется на английском, русском, французском и японском. В 1997 г. мы намереваемся переводить бюллетень на китайский и, возможно, другие языки. Следующие выпуски будут содержать вкладыши, посвященные регионам или государ-

ствам, где бюллетень распространяется на том или ином языке, и будет включать статьи ученых и общественных деятелей из государств со всего мира. Данный выпуск рассматривает различные варианты развития энергетики, делая особый акцент на ядерную энергетику и ее роль в глобальном производстве энергии. Наш следующий выпуск, выход в свет которого ожидается в декабре 1996 г., будет посвящен репроцессингу отработавшего топлива и плутонию.

Анита Сет



ЭНЕРГЕТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

"Энергетика и безопасность" - бюллетень по ядерному нераспространению, разоружению и по проблемам надежной энергетики. Публикуется четыре раза в год. Издатель: Institute for Energy and Environmental Research (IEER) / Институт исследований проблем энергетики и окружающей среды/

6935 Laurel Avenue, Takoma Park, MD 20912, USA

Тел.: 1-301-270-5500; Факс: 1-301-270-3029

Электронная почта: ieer@ieer.org

Адрес в Интернете: <http://www.ieer.org>

Институт исследований проблем энергетики и окружающей среды (IEER) обеспечивает общественность и политических деятелей глубокими, ясными и аргументированными научными и техническими исследованиями по широкому кругу вопросов. Целью IEER является демократизация науки и содействие созданию безопасной и здоровой окружающей среды.

Сотрудники IEER:

Президент: Архун Маоцзиканн

Исполнительный директор: Бернд Франк

Заведующий библиотекой: Луис Чалимерс

Инженер: Марк Фиораванти

Старший исследователь: Кевин Гурни

Библиотекарь: Дайана Кон

Исследователи: Анни Маоцзиканн

Координатор внешних связей: Пэт Ортмайер

Координатор международных связей: Анита Сет

Ассистент: Бетси Турлоу-Шилдс

IEER выражает благодарность спонсорам, чья поддержка сделала возможным осуществление нашего глобального проекта "Опасности ядерных материалов":

Фонду У. Элтона Дрюсона,

Фонду Джона Д. И Кэтрин Т. Макартуров,

Фонду Си-Эс.

Мы также благодарим спонсоров наших остальных проектов, на которые мы в значительной степени опираемся при осуществлении глобального проекта: Фонду "Паблик Уэлфар", Фонду Джона Мерса, Фонду Плюшерз, Программе "Юниверситет Витч" в Шелтер-Рок, Рокфеллер Файнэншил Сервис", Тресту похороновской Сьюзанта Р. Мотта, Фонду Джона Крика.

Английское издание:

Исполнительный редактор: Анита Сет

Дизайнер: Cutting Edge Graphics, Washington, DC

Фотографии: Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PRNC); Брайан Скот, министерство энергетики США

Вышло в свет в сентябре 1996 г.

Русское издание:

Директор русского издания: Александр Пыков

Консультант: Олег Бухарин

Подготовлено при содействии Комитета по критическим технологиям нераспространению

Вышло в свет в ноябре 1996 г.

Весь тираж английского и русского изданий "Энергетики и безопасность" распространяется бесплатно.

ПЛУТОНИЙ

(со стр. 1)

Для описания системы производства электроэнергии в реакторе-размножителе сторонники ядерной энергетики используют выражение "магический источник энергии", поскольку количество топлива на конечном этапе производства превышает его количество на начальной стадии (1).

В 50-е и 60-е гг. предполагалось, что уран представляет собой чрезвычайно редкий ресурс. Ученые пришли к выводу, что потребности в урановых ресурсах при опоре при производстве энергии на реакторы-размножители будут значительно меньше, чем потребности в случае одноразового использования урана. Например, количество природного урана, сжигаемого в течение всего периода эксплуатации АЭС мощностью в 1000 мегаватт (2), использующей легководные реакторы (ЛВР - наиболее распространенный тип ядерного реактора), составляет 4000 т. Тогда как для реактора-размножителя аналогичной мощности необходимо лишь 40 т урана. Подобное стократное теоретически возможное сокращение потребления энергетического сырья убедило сторонников ядерной энергии в том, что реакторы-размножители, при условии извлечения плутония из облученного реакторного топлива (репроцессинга), станут сердцевиной магической ядерной энергетики будущего, когда ядерная энергия будет слишком дешевой, чтобы измерять ее стоимость (3). В то время прогнозы использования ядерной энергии были чрезвычайно завышенными. В начале 70-х гг. США предполагали довести мощности АЭС до 1 млн. мегаватт к 2000 г.. Однако, в действительности, в настоящее время мощности американских АЭС составляют около 10 процентов ранее прогнозировавшихся (порядка 100 тыс. мегаватт) и не увеличиваются до 2000 г..

Теоретические аргументы в пользу реакторов-размножителей по-прежнему поражают воображение ядерных истеблишментов повсюду в мире. Но технические, экономические, политические, экологические и военные реальности, взятые вместе, делают основанную на плутонии энергетическую систему экономически нерентабельной, экологически опасной, дипломатически щекотливой и рискованной в военном отношении.

Технические и экономические трудности

Данная статья сфокусирована на реакторе-размножителе с натриевым охлаждением (также известного как реактор на быстрых нейтронах) - основном типе разработанного подобного реактора. Десятки миллиардов долларов были затрачены на исследования, разработки и демонстрацию данной технологии в целом ряде стран, включая Соединенные Штаты, Россию, Францию, Великобританию, Индию, Японию и Германию. Но эта технология до сих пор не достигла стадии коммерческого использования - не был создан ни один мало-мальски надежный реактор по производству энергии и "размножению" топлива. Общая мощность реакторов-размножителей достигает около 2600 мегаватт, что со-

ставляет лишь 0,8 процента мощности мировой ядерной энергетики в 340 тыс. мегаватт. В свою очередь, АЭС производят 12 процентов мирового производства электроэнергии. На реакторы-размножители приходится не только крайне незначительная доля электроэнергии,рабатываемой АЭС, но и нетто-производства расщепляющихся материалов. Более того, вероятно, что реакторы-размножители оказались нетто-потребителями расщепляющихся материалов.

Почти половина мощности мировых реакторов-размножителей приходится на единственном реакторе Суперфеникс во Франции, который сталкивается перед серьезными проблемами в процессе эксплуатации и в настоящее время не используется в качестве реактора-размножителя. Сейчас он выступает как чистый потребитель расщепляющихся материалов и используется, в основном, как исследовательский объект для исследований в области расщепления плутония и других аналогичных элементов, именуемых актинидами. Остальные 10 процентов мощностей сосредоточены на реакторе Монджу в Японии (мощностью 280 мегаватт). В декабре 1995 г., всего через 8 месяцев после начала его эксплуатации, на нем произошла серьезная авария.

От реакторов к оружию

Размер плутониевой начинки бомбы, взорванной над Нагасаки, может легко уместиться в руке взрослого человека.

В настоящее время количество наработанного энергетического плутония достаточно для создания от 20 до 30 тыс. единиц примитивного, но высокоэффективного ядерного оружия.

К 2000 г. общее количество наработанного плутония в невоенном секторе, как ожидается, превысит запасы плутония в мировых ядерных арсеналах.

Большинство реакторов-размножителей за пределами Франции и Японии используют урановое, а не более технически сложное плутониевое топливо. Российский реактор с натриевым охлаждением БН-600 работает преимущественно на ВОУ-топливе, а БН-350 в Казахстане в настоящее время функционирует на базе урана со средней степенью обогащения.

Конструирование и эксплуатация реакторов-размножителей связана с рядом проблем:

1. Процессы в реакторах-размножителях гораздо труднее поддаются контролю по сравнению с легководными реакторами из-за того, что неуправляемые ядерные реакции (а имеется риск полной утраты контроля, или "быстрой критичности") образуются гораздо легче в реакторах-размножителях, чем в легководных и других реакторах, использующих медленные нейтроны для цепных реакций.

2. Натрий, представляющий собой отличный охладитель, агрессивно реагирует с воздухом и взрывается при контакте с водой. Эти и другие факторы представляют серьезную проблему с точки зрения безопасности, выдвигают жесткие конструктивные требования и порождают значительные эксплуатационные трудности. Например, воздух и влага должны быть удалены из двух необходимых натриевых контуров охлаждения.

3. Присутствие плутония в качестве топлива в реакторе-размножителе порождает серьезные проблемы с точки зрения безопасности, что требует принятия более жестких мер защиты по сравнению с ЛВР.

(См. стр. 4)

ПЛУТОНИЙ

(со стр. 3)

4. Производство плутониевого топлива гораздо дороже, чем производство уранового топлива. Плутоний более радиоактивен, и требует более строгих мер безопасности.

5. Выделение плутония из отработавшего топлива для того, чтобы обеспечить его повторное использование в АЭС (репроцессинг), также связано с большими затратами и порождает множество проблем с точки зрения безопасности и экологии. (Репроцессинг будет рассмотрен в следующем выпуске "Энергетики и безопасности").

6. Присутствует более высокий риск катастроф. Более серьезные последствия подобных аварий диктуют необходимость принятия более жестких мер безопасности.

В настоящее время большинство программ в области реакторов-размножителей приостановлено или прекращено по причине высоких финансовых затрат и приведенных выше проблем при эксплуатации. В Соединенных Штатах, Германии и Великобритании реализация этих программ может быть прекращена или сокращена до уровня вялотекущей исследовательской деятельности. Японская программа испытывает значительные трудности в результате произошедшей в декабре 1995 г. аварии, вызванной утечкой натрия, на реакторе в Монджу. Эксплуатация этого реактора не возобновится в течение нескольких лет, если возобновится вообще. Во Франции пока нет планов создания новых реакторов-размножителей. Великобритания и Германия вышли из проекта по созданию европейского реактора-размножителя. В результате индийской программы была построена небольшая экспериментальная установка. Российские планы в области этих реакторов были приостановлены из-за недостаточного финансирования.

Стоимость и технические
проблемы реакторов-размножителей, репроцессинга и производства плутониевого топлива привели к более высоким чистым затратам на реакторы-размножители по сравнению с реакторами на урановом топливе. Более того, уран встречается в природе гораздо более часто, чем это предполагалось в 50-е и 60-е гг.. Вместо того, чтобы расти, цены на уран, в целом, сократились в реальном измерении в течение нескольких последних десятилетий.

ЦЕНЫ НА УРАНОВУЮ РУДУ ПО ДОЛГОСРОЧНЫМ КОНТРАКТАМ В ДОЛЛАРАХ 1995 Г. (ВСЕ ЦИФРЫ ОКРУГЛЕНЫ) *

Год	Цены, долл. США/1 кг урана
1960	100
1970	50
1980	90
1990	60

* Для конвертации цен в долл. 1995 г. был использован индекс цен производителей.

Более того, в течение последних десяти лет рыночные цены "спот" (цены свободного рынка в каждое данное время) были значительно ниже цен по долгосрочным контрактам. Например, в 1990 г. цены "спот" составляли примерно 30 долл. за 1 кг урана - лишь половину контрактной цены. За последнюю пару лет цены "спот" варьировались между 20 и 40 долл. за 1 кг. Низкие цены на уран частично связаны с сократившимся потреблением из-за сокращения по сравнению с планировавшимися темпами ввода в эксплуатацию новых реакторов.

Ценность и стоимость плутония

Еще до создания системы производства электроэнергии на базе реакторов-размножителей плутоний может быть использован в качестве топлива в легководных и других реакторах, не предназначенных для его "размножения". В любом случае, от одной четверти до одной трети энергии ЛВР вырабатывается с использованием плутония, образующегося в топливных стержнях из урана-238 в процессе эксплуатации реактора. Далее, отработавшее топливо ЛВР обычно содержит около 0,7 процента расщепляющихся изотопов плутония. Этот плутоний, хотя его количество гораздо меньше количества расщепляющихся материалов, используемых в реакторе, может быть извлечено для повторного использования в качестве топлива.

Однако большинство реакторов не может функционировать, используя чистый плутоний. Общее количество расщепляющихся материалов (уран-235 плюс расщепляющиеся изотопы плутония) должно быть значительно меньше максимально допустимого уровня - порядка 5 процентов для большинства типов ЛВР. Плутоний переводится в оксидную форму, смешивается с оксидом урана (в основном, с ураном-238 с добавлением примерно 0,2 процента урана-235). В результате образуется смешанное оксидное топливо (МОХ-топливо, от англ. mixed-oxide (MOX) fuel). Таким образом, казалось бы, даже в отсутствие реакторов-размножителей плутоний может использоваться в качестве топлива ядерных реакторов.

Хотя данный аргумент представляется корректным с точки зрения физики, он не выдерживает критики с экономических позиций. Для определения практической экономической ценности плутония следует принимать во внимание стоимость его переработки и производства топлива и сравнивать его со стоимостью других видов топлива. Наиболее детальным и современным независимым исследованием по данному вопросу является доклад по различным типам реакторов, используемым для утилизации плутония, который был опубликован Национальной Академией наук (НАН) США в 1993 г..

Доклад НАН оценивает стоимость переработки и производства реакторного топлива на базе низкообогащенного оксида урана (с обогащением 4,4 процента) в 1400 долл. за 1 кг в ценах 1992 г., при условии, что цена 1 кг природного урана составляет 55 долл. за 1 кг. Стоимость производства МОХ-топлива, даже при условии наличия бесплатного плутония (т.е. извлеченного из избыточных ядерных боезарядов) составит 1900 долл. за 1 кг в ценах 1992 г., исключая налоги и страховку (4). Более высокая стоимость МОХ-топлива означает, что ежегодные затраты на полную загрузку реактора мощностью в 1000 мегаватт данным видом топлива будут на 15 млн. долл. выше, чем на урановое топливо для реактора аналогичной мощности. В течение всего срока эксплуатации реактора разница между МОХ- и урановым топливом будет выше на 450 млн. долл. (в ценах 1992 г.), даже если плутоний будет бесплатным. Это эквивалентно при-

мерно 500 млн. долл. в ценах 1995 г.. Стоимость утилизации отработавшего МОХ-топлива также, вероятно, будет выше стоимости утилизации уранового топлива, поскольку оно более радиоактивно и содержит вдвое-втрое большее количество остаточного плутония.

Ясно, что до тех пор, пока цены на уран относительно низки, использование МОХ-топлива нерентабельно даже при наиболее благоприятных условиях: когда сам плутоний бесплатен, а цены на уран превышают нынешние рыночные цены "спот". Разница в стоимости еще более увеличится, если принять во внимание затраты на репроцессинг, так как он потребует в течение всего срока эксплуатации реактора выделения дополнительного сотен миллионов долларов на каждый реактор.

Как отметила НАН в докладе 1994 г., тот факт, что плутоний представляет собой энергетическую ценность с физической точки зрения, не означает его экономическую рентабельность. Нефть, содержащую в сланцах, также физически можно использовать в качестве топлива. Но стоимость ее извлечения по сравнению с затратами на добывчу нефти из обычных месторождений не позволяет использовать ее, как и плутоний, в качестве экономически выгодного источника энергии. Кроме того, плутоний представляет угрозу с точки зрения распространения ядерного оружия, что также сопряжено со значительными убытками, хотя их и трудно измерить.

Опасности распространения

Хотя энергетический плутоний и имеет другой изотопный состав по сравнению с оружейным, его можно использовать в ядерном взрывном устройстве, как это было продемонстрировано Комиссией по атомной энергии Соединенных Штатов в ходе успешного ядерного испытания, проведенного в 1962 г.. Продолжающийся репроцессинг и использование плутония несут двоякую угрозу. Во-первых, растущие запасы энергетического наработанного плутония подрывают международно-правовые обязательства по разоружению. Даже если он ведется в коммерческих целях, репроцессинг плутония может восприниматься как создание дополнительных запасов оружейных материалов. В краткосрочной перспективе это может подорвать эффективные глобальные переговоры по прекращению производства расщепляющихся материалов, а в долгосрочном плане - Договор о нераспространении ядерного оружия, согласно статье VI которого государства-участники приняли обязательство вести переговоры в духе добной воли по выработке эффективных мер по скорейшему прекращению гонки вооружений и ядерному разоружению.

Другая опасность заключается в проникновении плутония на черный рынок. Энергетическая стоимость плутония определяется ценой на уран. Предполагая, что цена 1 кг урана составляет 40 долл., стоимость 1 кг урана-235 достигает 5600 долл.. Поскольку выделение энергии на единицу расхода у плутония-239 и урана-235 примерно одинаково, теоретическая цена расщепляющегося плутония эквивалентна примерно 5600 долл. за 1 кг. Реакторный плутоний также содержит нерасщепляющиеся изотопы, что снижает цену до 4400 долл. за 1 кг (5). От 6 до 10 кг реакторного плутония достаточно для создания ядерной бомбы, что определяет ее цену в плутониевом эквиваленте от 26400 до 44000 долл.. Однако стоимость плутония на потенциальном черном рынке, где основным стимулом выступает приобретение доступа к ядерному оружию, несомненно, намного превышает приведенные оценки. Опасность проникновения плутония на черный рынок особенно остра в России, где угроза не-

санкционированного использования возрастает в связи с ослаблением централизованного контроля в сочетании с ростом организованной преступности и трудным экономическим положением.

Долгосрочные проблемы энергетики

В настоящее время экономические характеристики плутония настолько очевидны, что они не создают основы для серьезных дискуссий относительно его использования в качестве источника энергии в ближней и среднесрочной перспективе. Однако сторонники использования плутония в энергетических целях указывают на долгосрочные потребности энергетики в качестве аргумента в пользу создания и поддержания инфраструктуры для использования плутония.

Нынешние оценки урановых ресурсов, доступных по цене в 80 долл. за 1 кг (что значительно ниже цены, при которой МОХ-топливо могло бы быть конкурентоспособным), составляют 3,3 млн. т, что достаточно на 6-7 десятилетий традиционного использования урана при сохранении нынешних уровней производства энергии на АЭС. Эти оценки не принимают во внимание интенсивную геологическую разведочную деятельность, которая сопровождает реальный рост цен. Весьма показательна история с разведкой нефти и газа. Рост цен в 1972-74 гг. был вызван политикой по ограничению производства и фиксированию цен, проводившейся Организацией стран-экспортеров нефти (ОПЕК). Однако рост цен привел к резкому увеличению геологической разведки, в результате чего количество стран-экспортеров нефти и ее предложение возросли столь существенно, что сегодня реальная цена нефти ниже той, которая была в 1974 г.. Реальные цены на уран имеют тенденцию к снижению (за исключением периода 70-х гг., когда они следовали повышательной тенденции нефтяных цен), что может привести к некоторому сокращению нынешних оценок запасов природного урана.

Несмотря на чьи-либо взгляды о будущем ядерной энергетики, не имеет большого смысла инвестировать сегодня огромные средства в использование плутония в качестве топлива, в то время как, в лучшем случае, экономическая рентабельность такого использования станет реальностью через многие десятилетия. Использование плутония имеет еще меньше смысла, если рассматривать его в контексте ограниченных экономических ресурсов, которые было бы лучше направить на улучшение окружающей среды и укрепление безопасности, а также в отрасли с быстрой экономической отдачей, как, например, электростанции на базе природного газа или биомассы, производство солнечной энергии в комбинации с использованием природного газа, или повышение эффективности энергопользования.

Примечания

1) Подобное производство также возможно путем превращения нерасщепляющегося тория-232 в расщепляющийся уран-233 (который не встречается в природе в значительных количествах). Однако разработка размножителей на базе урана-233 находится на еще менее продвинутой стадии по сравнению с размножителями, работающими с использованием плутония. Более детальную техническую информацию о ядерных реакторах см.: Arjun Makhijani and John Saleska, *The Nuclear Power Deception, Institute for Energy and Environmental Research, Takoma Park, Maryland, 1996*.

ПЛУТОНИЙ

(окончание)

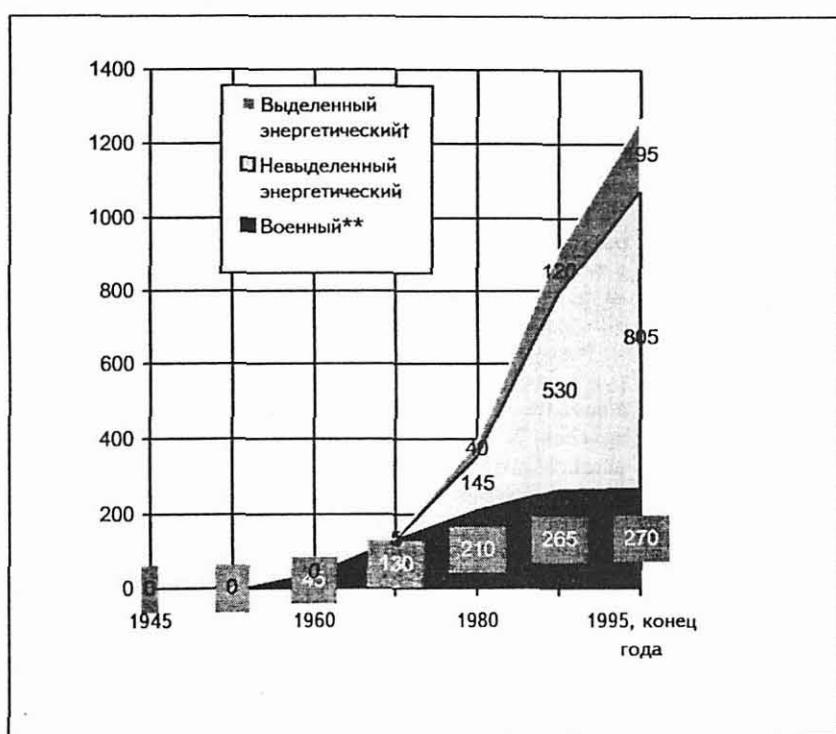
2) Все данные по мощности реакторов приводятся в электрических мегаваттах, за исключением особо оговоренных случаев. Предполагается, что сроки эксплуатации реакторов составляют 30 лет, а их загрузка - 70 процентов. Все данные округлены и взяты из: John R. Lamarsh, *Introduction to Nuclear Engineering*, Second Edition (Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1983).

3) В действительности, идея о ядерной энергии, которая была бы столь дешева, что ее незачем было бы измерять, представляла собой пропаганду времен "холодной войны". Даже в 50-е гг. инженеры-ядерщики не верили, что ядерная энергия может быть столь дешева. См.: IEER Report, *The Nuclear Power Deception*.

4) Panel on Reactor-Related Options for the Disposition of Excess Weapon Plutonium. Committee on International Security and Arms Control, *Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium-Reactor-Related Options* (Washington, DC: National Academy Press, 1995), pp. 290, 294.

5) Типичное отработавшее топливо ЛВР содержит около 0,2 процента нерасщепляющихся изотопов плутония.

Динамика мировых запасов плутония в послевоенный период (в тоннах^(*))



(*) Все данные округлены либо до ближайшей круглой цифры, либо до ближайшего количества тонн, кратного 5.

(**) Помимо США, ни одно государство не раскрыло данные по производству плутония. Все остальные данные по военному плутонию являются приблизительными оценками. Оценки запасов на 1990 и 1995 гг. основаны на предположении, что российские запасы военного плутония составляли 150 т. По последним данным, запасы плутония в России, возможно, несколько ниже, примерно, 130 т..

(†) Выделенный энергетический плутоний принадлежит государствам, до сих пор занимающимся его переработкой: Великобритания, Индия, Россия, Франция, Япония. Кроме того, ряд стран, не располагающих собственными мощностями по переработке, заключил контракты по переработке с Великобританией и Францией, и также располагает значительными запасами энергетического плутония. Среди них: Бельгия, Германия, Италия, Нидерланды и Швейцария. Соединенные Штаты обладают относительно небольшими запасами энергетического плутония, наработанного на радиохимическом предприятии в Уэст-Вэлли, штат Нью-Йорк, которое было закрыто в 1972 г..

Источник: Arjun Makhijani and Scott Saleska, *The Nuclear Power Deception* (Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, 1996)

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Составлено Анитой Сет

В Таблице 1 приведены страны в порядке доли электроэнергии, получаемой ими с АЭС. Данная Таблица содержит два различных показателя - мощность электростанций и производство электроэнергии. Мощность электростанций означает максимально возможное производство электроэнергии на имеющихся мощностях и измеряется в мегаватах (МВт). Производство означает количество электроэнергии, произведенное за определенный период времени (в нашем случае, за 1 год), и измеряется в киловатт-часах (кВтч). Таблицы 1 и 2 приводят общие данные по брутто-производству электроэнергии, включая потери при транспортировке и распределении.

В Таблице 2 ядерная энергетика сопоставляется с другими видами производства энергии. И хотя тепловая энергетика является наиболее распространенной, составляя 60 процентов мирового производства электроэнергии, в отдельных регионах большая часть электроэнергии вырабатывается на электростанциях других типов. В Южной Африке гидроэлектростанции производят 80 процентов всей электроэнергии, вчетверо больше, чем тепловая энергетика, и более чем в 50 раз больше - чем атомная.

В Таблице 3 рассматривается не только производство электроэнергии, но и ее коммерческое потребление. 700 млн. жителей Африки, составляющие около 15 процен-

тов всего человечества, в 1993 г. потребили лишь 3 процента мирового коммерческого энергопотребления. Напротив, на Северную Америку и Европу, где проживает примерно одна пятая часть населения Земли, пришлась почти половина мирового потребления энергии.

Среди коммерческих источников энергии очевиден упор на ископаемое топливо (прежде всего, на уголь, нефть, природный газ). На него приходится 90 процентов мирового производства энергии.

Однако некоторые страны получают весьма значительную долю энергии с АЭС. Например, во Франции на атомную энергетику приходится около 44 процентов общего потребления энергии.

Данные в Таблицах 1-3 приводятся в соответствии с последними имеющимися данными ООН. В этих таблицах учитывается только коммерческое использование энергии, и игнорируются такие традиционные источники, как древесина, фекалии животных и остатки сельскохозяйственных культур (именуемые биомассой), которые применяются для приготовления пищи и отопления. Сжигание

биомассы является источником почти 15 процентов мирового энергопотребления. В развивающихся странах роль биомассы гораздо больше: ее сжигание является основным источником энергии и достигает 38 процентов общего энергопотребления. Поскольку эти виды топлива не являются рыночными, их ценность и масштабы использования часто не находят достаточного внимания. Но они представляют собой единственный доступный источник энергии для сотен миллионов человек.

Сжигание биомассы в нынешнем виде неэффективно в сравнении с ископаемым топливом и создает проблемы для окружающей среды и здоровья человека. Путем определенных финансовых инвестиций и проведения научных исследований топливо из биомассы могло бы быть преобразовано в современные формы получения энергии, которые обеспечили бы более чистый, эффективный и возобновляемый энергетический ресурс, более предпочтительный, чем ископаемое топливо и атомная энергия.

Таблица 1. Производство ядерной энергии (1993)

Страна	Доля АЭС в общем производстве электроэнергии (процент)	Общее производство электроэнергии (млн. кВтч)	Общая мощность (мегаватт)
Франция	78	368188	59020
Бельгия	60	41927	5485
Швеция	43	61395	9912
Испания	36	56060	7020
Ю.Корея	36	58138	7616
Украина	33	75243	12818
Германия	29	153476	22657
Япония	28	249256	38541
Великобритания	28	89353	11894
США	19	610365	99061
Канада	18	94823	15437
Россия	12	119186	21242
Весь мир*	18	2167515	340911

*Мировые данные включают также страны, не указанные в таблице

Источник: Energy Statistics Yearbook: 1993 (New York: United Nations, 1995)

Таблица 2. Структура мирового производства электроэнергии (в млн. кВтч)

	Ископаемое топливо	Гидро-	АЭС	Геотермальные и др.	Всего
Мир	7669958	2376106	2167515	47131	12260710
Африка	281518	50531	7200	340	339589
Сев.Америка	2419646	641208	709994	30195	3873043
США	2236388	276463	610365	22676	3145892
Юж.Америка	97291	410479	8192		515962
Азия	2403166	526107	351498	9356	3290127
Китай	685153	151800	2500		839453
Индия	279000	70667	6800	52	356519
Япония	550181	105470	249256	1798	906705
Европа	2237226	708654	1090631	5640	4042151
Франция	35366	67894	368188		471448
Германия	350656	21465	153476	124	525721
Россия	662199	175174	119186	28	956587

Источник: Energy Statistics Yearbook: 1993 (New York: United Nations, 1995).

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ (со стр. 7)

**Таблица 3. Мировое потребление энергии в коммерческих целях, 1993 г.
(в петаджоулях)***

	Твердое топливо	Жидкое топливо	Природный газ	АЭС**	Другие источники	Всего
Мир	93981	119407	77921	23599	9966	324873
Африка	3130	3859	1548	78	195	8805
Сев. Америка	20056	40070	26474	7730	3266	97598
США	18863	32093	22362	6645	1684	81751
Юж. Америка	616	5456	2461	89	1478	10095
Азия	42131	34132	13443	3827	2260	95830
Китай	23540	4886	661	27	547	26679
Индия	6281	2264	460	74	255	9338
Япония	3545	8579	2223	2714	443	17505
Европа	26231	34095	33109	11874	2569	107852
Франция	610	3204	1307	4009	244	9153
Германия	4115	5158	2699	1671	78	13724
Россия	6636	6802	14745	1298	631	30042

*Твердое топливо включает в себя: каменный уголь, лигнит, бурый уголь и горючие сланцы. Жидкое топливо включает сырую нефть и газовый конденсат. Другие источники энергии - это, в основном, ГЭС, сюда также относятся: геотермальные, ветровые, приливные, волновые и солнечные источники энергии. Вырабатываемая на АЭС энергия переводится в тепловую через коэффициент 1000 кВтч = 0,372 т угля.

** Не включает импорт и экспорт

Примечание: Таблица 3 приводит данные по потреблению первичной энергии, тогда как Таблица 2 содержит данные по производству энергии (в форме электроэнергии). В этом - основная причина несоответствия между цифрами в колонках "АЭС" и "другие источники" (главным образом, ГЭС) данной Таблицы и соответствующими колонками ("АЭС" и "гидро-") в Таблице 2. Производство электричества из тепловых видов энергии (включая ядерную) по эффективности составляет лишь треть по сравнению с "механическим" производством (ГЭС). Хотя количество электроэнергии, произведенное на АЭС и ГЭС, примерно одинаковое, по потреблению доля атомной энергии втрое выше гидроэнергии. Для сопоставления энергетических данных другая колонка должна быть увеличена до 27 тыс. петаджоулей.

Источник: *Energy Statistics Yearbook* 1993 (New York: United Nations, 1995).

ТАБЛИЦА 4. ЭНЕРГИЯ, ПОЛУЧАЕМАЯ ОТ СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ (1985)

	Петаджоули	Биомасса в процентах от общего производства энергии
Мир	54800	14,7
Развитые страны*	6900	2,8
Развивающиеся страны*	48000	38,1

*Категория "развитые страны" включает США, Канаду, Европу, Японию, Австралию и Новую Зеландию, а также бывший Советский Союз. В "развивающиеся страны" входят государства Латинской Америки, Африки, Азии (кроме Японии) и Океании.

Источник: Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K.N.Reddy, and Robert H. Williams, *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity* (Washington, DC: Island Press, 1993), pp. 594-5.

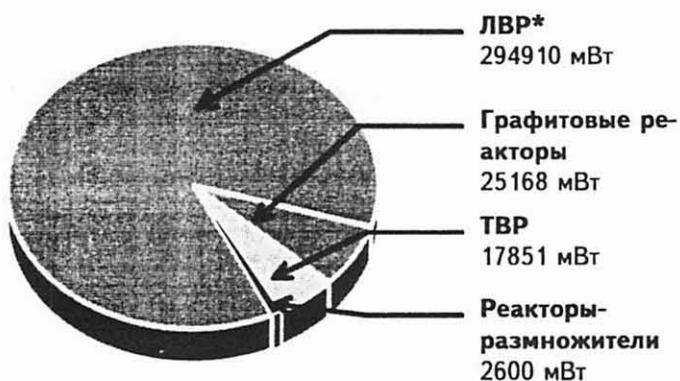
Таблица 5. Количество ядерных реакторов по регионам (май 1996 г.)

	Действующие *	В стадии строительства	Строительство заморожено
Африка	2	0	0
США	110	0	6
Остальная Сев. Америка	24	0	2
Южная Америка	3	2	0
Япония	52	2	0
Ост. Азия	31	15	1
Франция	56	4	0
Остальная Зап. Европа	94	0	0
Вост. Европа	20	4	6
Россия	29	3	7
Украина	15	2	3
Остальная часть быв. СССР	5	0	0
ВСЕГО	441	32	25

* Включает пять реакторов, не введенных в эксплуатацию, но получивших лицензии по состоянию на май 1996 г. в США, Армении, Канаде, Германии и Индии. Включает также реакторы, достигшие критичности, но пока не вырабатывающие электроэнергию в коммерческих масштабах: два в Японии и по одному в США и Румынии.

Источник: Uranium Institute website (<http://www.uilondon.org/netpower.html>)

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РЕАКТОРАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ



* Мощность водяных реакторов под давлением (ПВР) составляет 219391 мВт, а водяных кипящих реакторов (БВР) - 75519 мВт.

** Небольшое количество мощностей по производству электроэнергии (менее 0,1 процента) приходится на другие типы реакторов.

Источник: Uranium Institute website (<http://www.uilondon.org/reastats.html>). Данные по реакторам-размножителям взяты из: Nuclear Power Reactors in the World (Vienna: International Atomic Energy Agency, April 1995). К ним были добавлены 280 мВт в связи с пуском реактора Монджу в Японии в апреле 1995 г.



Турбины «Зонд 2-40» (мощностью 550 кВт) на ветровой ферме около Дэвиса, штат Техас. Чистая, возобновляемая энергия Ветра - надежный источник экономичного и надежного энергоснабжения в районах с сильными ветрами.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА И АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ (ТАБЛИЦА).

Качественные сопоставления в данной таблице основаны на предположении, что предприятия функционируют с разумным вниманием к проблемам охраны окружающей среды как при текущей эксплуатации, так и при обращении с отходами. При отсутствии этого последствия могут быть (и зачастую бывают в действительности)

гораздо более серьезными. Положения о климатических изменениях в данной таблице касаются лишь последствий следования той или иной стратегии. Стратегия опоры на ядерное топливо и на возобновляемые ресурсы несет в себе риски и помимо упомянутых, поскольку их выбор потребовал бы продолжительного переходного периода.

	Реакторы-размножители	Традиционные атомные реакторы	Ископаемое топливо, современный подход	Ограничение использования ископаемого топлива и возобновляемые ресурсы
Ресурсная база, современная экономика*	неопределенное будущее	от 50 до 100 лет, возможно, и более	несколько сот лет	неопределенное будущее
Ресурсная база, включающая очень низкокачественные ресурсы	не требуется	неопределенное будущее	тысячи лет	не требуется
Риск сопутствующих климатических изменений	нет**	нет	потенциально катастрофический	нет, если сжигаемое топливо в значительной части выведено из энергобаланса
Потенциальные последствия катастроф	тяжелые: долговременное заражение значительных территорий	тяжелые: долговременное заражение значительных территорий	отсутствуют последствия для значительных территорий, но могут быть тяжелыми для отдельных местностей; поражающие факторы кратковременного действия	отсутствуют последствия для значительных территорий, но могут быть тяжелыми для отдельных местностей; поражающие факторы кратковременного действия
Загрязнение атмосферы в результате текущей эксплуатации	относительно небольшое	относительно небольшое	от сильного до умеренного в зависимости от качества оборудования	от сильного до умеренного в зависимости от качества оборудования
Загрязнение водных ресурсов в результате текущей эксплуатации	потенциально серьезное на рудниках и перерабатывающих предприятиях, но незначительное из-за низких потребностей в уране; потенциально серьезное на объектах по утилизации и захоронению	часто серьезное на рудниках и перерабатывающих предприятиях (включая выброс радиоактивных и нерадиоактивных загрязнителей); потенциально серьезное на объектах по утилизации и захоронению	часто серьезное на угольных шахтах; серьезное на некоторых нефтяных месторождениях (включая выброс не- и радиоактивных загрязнителей, прежде всего, радия-226 на многих нефтяных скважинах)	потенциально крайне низкое
Риск создания ядерного оружия	да	да, но меньший чем при использовании реакторов-размножителей	нет	нет

* См. текст

** Обсуждается воздействие выделения криптона-85 при экстенсивной переработке топлива реакторов-размножителей на процесс образования облаков и связанные с этим потенциальные климатические изменения.

Земля способна абсорбировать выделение диоксида углерода в размере 3 гигатонн в год, хотя точный уро-

вень подобной абсорбции неизвестен. Нынешнее выделение углекислого газа составляет 9 гигатонн, и 2/3 этого

количества связано со сжиганием ископаемого топлива. Остальная часть выделяется в результате сжигания биомассы. Помимо выделения диоксида углерода, добыча ископаемого топлива и применение технологий по контролю за выбросом в воздух и воду других вредных веществ (помимо диоксида углерода) также способствуют экологической деградации, которая зачастую приобретает серьезные масштабы на местном и региональном уровне.

Кроме того, использование ископаемого топлива нынешними методами содержит риск климатических изменений, которые пока не очень хорошо изучены, но могут быть катастрофическими и необратимыми. Среди всех видов ископаемого топлива природный газ обеспечивает максимальный уровень выхода энергии на единицу выброса углерода. Однако при уровне современной технологии природный газ сам по себе не способен удовлетворить глобальные энергетические потребности, особенно принимая во внимание тот факт, что потребности в энергии большинства населения мира сегодня не удовлетворены. Более того, утечка из газопроводов природного газа (метана) способствует глобальному потеплению в гораздо большей (хотя и не вполне изученной степени), чем выделение углекислого газа на межмолекулярном уровне.

В нынешней ситуации атомная энергетика выделяет гораздо меньше вредных выбросов, чем их производится при сжигании ископаемого топлива. Однако она несет серьезный риск катастроф, подобной Чернобыльской, сопровождаемых тяжелейшими и длительными последствиями, охватывающими значительные регионы. Помимо этого, угроза безопасности, порождаемая большими запасами ядерных оружейных материалов, не имеет аналога при использовании ископаемого топлива.

Ясно, что в настоящее время ни стратегия опоры на ископаемое топливо, ни атомная энергетика не могут предложить разумной экологической политики и стратегии безопасности. Кроме того, реакторы-размножители, опора на возобновляемые ресурсы (два возможных неограниченных источника энергии) при современных ценах на топливо остаются экономически нерентабельными для того, чтобы немедленно создать основу глобальной энергетики. Каковы же варианты безопасной, надежной и экологичной энергетики будущего?

Если использование ископаемого топлива и сжигание биомассы будут сокращены таким образом, чтобы ежегодный выброс углерода в атмосферу не превышал 3 гигатонн, ископаемое топливо окажется более приемлемым энергетическим источником по сравнению с атомной энергией, однако его необходимо будет дополнить использованием других энергетических ресурсов. Экономически и экологически оправданные меры по расширению потребления углерода, которые позволили бы его абсорбировать и утилизировать таким образом, чтобы при этом в атмосферу не выделялся углекислый газ, также превратили бы ископаемое топливо в лучший энергетический ресурс. Ископаемое топливо могло бы использоваться в меньшей степени в течение переходного периода к экономике, основанной на использовании возобновляемого топлива. Если бы меры по расширению потребления углерода оказались бы экономически оправданными, потребление ископаемого топлива могло бы даже возрасти.

Природный газ мог бы выступить в роли переходного топлива на пути к широкому использованию водорода, выделяемого посредством солнечной энергии, воспроизведенной биомассы и энергии ветра. При определенных обстоятельствах энергия солнца и ветра была бы вполне

рентабельной (в регионах с высокой скоростью ветра или высокой инсоляцией и незначительными осадками). Конечно, эти источники энергии могут стать основой энергетики только в неопределенном будущем. Однако постепенный переход следовало бы начать уже сейчас путем постепенного снижения стоимости технологий получения солнечной и ветровой энергии и при условии повышения цен на уран, уголь и нефть. Умеренное использование ископаемого топлива (сопровождаемое инженерными мерами по предотвращению выброса углекислого газа в атмосферу) в сочетании с возобновляемыми источниками энергии и наряду с повышением эффективности энергопотребления обеспечило бы наилучшую альтернативу для создания экономичной и надежной энергетики будущего.



РЕКОМЕНДАЦИИ (НАЧАЛО НА СТР.1)

В феврале 1996 г. США возобновили работу военно-го предприятия по выделению плутония в Саванна-Ривер, мотивируя это необходимостью "управления окружающей средой", хотя репроцессинг представляет собой наихудший вариант утилизации плутония с точки зрения защиты окружающей среды, здоровья общественности и персонала (1).

Множество экономических, технических, экологических аргументов против использования плутония, а также соображения безопасности, не убедили тех, кто по-прежнему верит в то, что плутоний является ценным энергетическим ресурсом, который будет играть долгосрочную роль в глобальной энергетике и экономике. Более того, адвокаты использования плутония занимают влиятельные посты в ключевых странах, включая Россию, Францию, Японию, Великобританию и, в меньшей степени, Соединенные Штаты.

Преодоление российско-американских разногласий по плутонию

Существуют глубокие концептуальные разногласия между руководством США и России относительно того, является ли плутоний ценностью или источником риска. Положение российского правительства состоит в том, что плутоний представляет собой важный энергетический ресурс и имеет значительную экономическую ценность. В то же время многие американские лидеры, например, министр энергетики Хейзел О'Лири и советник президента по науке Джон Х. Гиббонс, рассматривают избыточный с точки зрения военных потребностей плутоний в качестве источника риска. В исследованиях, проведенных Национальной Академией наук в 1994 и 1995 гг., делается вывод, что использование плутония в реакторах АЭС было бы убыточным, даже принимая во внимание возможные доходы от продажи электроэнергии. Эти убытки были бы того же порядка, что и стоимость остеокловывания плутония. Разумеется, и в Соединенных Штатах имеются такие организации, как, например, Американское ядерное общество, чьи взгляды на плутоний, скорее, ближе к российской позиции. Более того, в США, включая министерство энергетики, по-прежнему распространены настроения в пользу использования плутония в действующих энергетических реакторах в качестве компонента топлива, представляющего собой смесь оксидов урана и плутония (МОХ-топливо). Аналогичные намерения высказывались и российскими лидерами.

Вопрос о ценности плутония в долгосрочном плане сегодня не может быть решен. Но мы можем отделить кратко- и среднесрочные проблемы от долгосрочных проблем энергетики. Большинство независимых исследований, в которых тщательно рассматривалась стоимость репроцессинга и производства топлива, приходили к выводу, что из-за наличия больших запасов дешевого урана, в настоящее время плутоний не является экономически выгодным видом топлива и не будет таковым в ближайшем будущем (см. Основную статью). IEER разделяет эту точку зрения. Принимая во внимание присутствие дешевого урана и серьезных опасений с точки зрения безопасности, мы полагаем, что необходимо достижение принципиального согласия о переводе сегодня плутония в форму, не пригодную для создания оружия, при условии создания механизма, который позволил бы использовать его в качестве источника энергии в долгосрочной перспективе, в случае, если экономические условия и ситуация в области нераспространения изменятся в достаточной степени, чтобы позволить это.

Мы предлагаем две основные рекомендации относительно обращения с плутонием в кратко- и среднесрочной перспективе:

1. Избыточный военный плутоний и весь энергетический плутоний должен быть остеклован таким способом, чтобы его было очень сложно похитить, а для неправительственных структур - крайне затруднительно повторно извлечь и использовать при создании ядерного оружия.

Остекловывание плутония

Для того, чтобы гарантировать, что плутоний не будет использоваться при производстве ядерного оружия, необходимо привести его в форму, не позволяющую применять его в оружейном производстве. Одним из таких способов является смешение плутония с большим количеством жидкого стекла и помещение его затем в металлические контейнеры с целью создания стеклянных блоков. Этот процесс называется остекловыванием (витрификацией). Концентрация плутония в стекле может варьироваться от одного до нескольких процентов. Низкая концентрация затрудняет хищение или повторное извлечение плутония, однако увеличивает количество стеклянных блоков и, следовательно, требует больше места для хранения. Повторное извлечение плутония из стекла может осуществляться без применения чрезмерно сложной технологии.

С целью максимально затруднить повторное извлечение плутония и, тем самым, создать больше гарантий его нераспространения, его можно смешать с высокорадиоактивными продуктами деления, например, цезием-137 или смесью продуктов деления, образовавшихся на предыдущей стадии технологической цепочки репроцессинга. Эти выделяющие гамма-излучение материалы станут источником смертельной дозы радиации для любого, кто попытается похитить содержащий плутоний стеклянный блок. Однако такой подход увеличивает стоимость повторного извлечения плутония, если такая необходимость возникнет когда-либо в будущем. Возможная "золотая середина" состоит в том, чтобы остеклывать плутоний в смеси с другими элементами, в частности, торием-232, и помещать полученную смесь в контейнер, которому была бы придана высокая радиоактивность путем использования при его создании цезия-137.

"Остекловывание" предполагает смешивание плутония с большим количеством жидкого стекла (и других материалов) при создании стеклянных блоков. Контейнеры, предназначенные для хранения этого стекла (или сами

стеклянные блоки), необходимо сделать высокорадиоактивными с тем, чтобы их было очень сложно похитить.

2. Все радиохимические предприятия, как военные, так и коммерческие, производящие материалы, пригодные для производства оружия, следует закрыть с целью остановки накопления запасов оружейных материалов.

Правительства России и США должны решать энергетические проблемы, связанные с расщепляющимися материалами, путем создания механизмов, отвечающих озабоченности тех, кто полагает, что плутоний является очень ценным источником энергии будущего. Мы рекомендуем осуществление двух дополнительных мер:

1. Создание международных запасов уранового топлива для реакторов АЭС в качестве средства, гарантирующего долгосрочное снабжение по разумным ценам. Эти запасы могут быть созданы на базе избыточного военного высокообогащенного урана.

2. Создать финансовые гарантии повторного извлечения плутония из остеклованного состояния, если когда-либо какое-либо государство придет к выводу, что это экономически выгодно для производства энергии. Тем самым, российское и другие правительства сохранят возможности по использованию плутония в будущем, если это будет экономически целесообразным.

Эти шаги должны способствовать преодолению опасений относительно обеспечения сырьем производств реакторного топлива и позволить уже в краткосрочной перспективе приступить к остекловыванию плутония. Средства для этого могли бы предоставить правительство США, страны Европейского союза и Япония.

Российско-американское сотрудничество

В настоящее время имеются обнадеживающие признаки проведения политики в области нераспространения в Соединенных Штатах и России. США не перерабатывают отработавшее топливо коммерческих реакторов (хотя они и продолжают эксплуатацию военного радиохимического предприятия) и начали серию испытаний на установках по остекловыванию высокорадиоактивных отходов в Саванна-Ривер-Сайт в штате Южная Каролина и Уэст-Вэлли в штате Нью-Йорк. Россия располагает гораздо большим опытом, чем Соединенные Штаты, по остекловыванию высокорадиоактивных отходов на действующей установке в Челябинске-65. Кроме того, в Радиевом институте в Санкт-Петербурге она также проводила эксперименты по остекловыванию плутония, содержащегося в плутониевых остатках, непригодных для использования в качестве топлива. Современные работы в России, наряду с исследованиями в американских лабораториях, например, в Саванна-Ривер-Сайт и Национальной лаборатории в Ок-Ридже, могли бы обеспечить основу для активного взаимовыгодного сотрудничества по решению одной из наиболее актуальных проблем нашего времени.

Президенты Клинтон и Ельцин должны уже сейчас принять решение об остекловывании плутония в целях предотвращения его появления на черном рынке. В качестве первого шага, Россия и США могли бы создать два совместных пилотных предприятия по остекловыванию - по одному в каждой стране - в рамках реализации программы технического сотрудничества в области безопасности расщепляющихся материалов.

Соединенным Штатам и России необходимо договориться о закрытии их радиохимических предприятий и не использовать плутоний в качестве топлива для АЭС. Затем им следовало бы приложить совместные усилия по убеждению других государств последовать их примеру и также закрыть предприятия по переработке.

Только российско-американское партнерство в обращении с оружейными расщепляющимися материалами может побудить другие страны проводить экологически ответственную и предотвращающую распространение политику в области обращения с оружейными ядерными материалами и увеличивать занятость именно в этих областях, а не в таких спорных технологиях, как репроцессинг. Потенциальная возможность несанкционированного использования плутония, как из военных, так и энергети-

ческих запасов, представляет собой глобальную проблему, нуждающуюся в глобальном решении.

Примечания:

1) См.: Noah Sachs, *Risky Relapse into Reprocessing* (Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, Jan. 1996)



ГЛОССАРИЙ

Активная зона - центральная часть реактора, содержащая топливо, замедлитель (в случае реакторов на тепловых нейтронах) и охладитель.

Глубина выгорания - количество энергии, производимое единицей ядерного топлива; обычно измеряется в мегаватт-днях на тонну исходного тяжелого металла (МВт · дн./т).

Замедлитель - материал, используемый в ядерных реакторах с целью замедления быстрых нейтронов, образующихся в процессе деления.

Изотоп - разновидность элемента, содержащая в ядре атома одинаковое с основным элементом количество протонов, но иное количество нейтронов. Изотопы одного и того же элемента имеют одинаковое атомное число, но различающиеся массовые числа.

Исходный материал - материал, не являющийся расщепляющимся, но который может быть преобразован в него. Основными исходными материалами являются уран-238 и торий-232.

Нейtron - нейтральная элементарная частица, содержащаяся в ядре химических элементов (кроме водорода). Свободные нейтроны распадаются на протон, электрон и анти-нейтрино. Нейtron почти в 1838 раз тяжелее электрона.

Остекловывание - процесс производства стекла. В контексте плутония и обращения с ядерными отходами это - смешивание этих материалов с жидким стеклом с целью обеспечить их неподвижность, безопасное хранение и затруднить их использование при производстве оружия.

Период полураспада - период времени, необходимый для распада половины имеющегося количества радиоактивного элемента.

Протон - положительно заряженная элементарная частица с зарядом равным электрону, но в 1836 раз тяжелее его.

Расщепляемый материал - ядра атомов которого могут быть расщеплены при бомбардировке высокогенергетическими нейтронами. Большинство поддающихся расщеплению материалов не являются расщепляющимися и не могут поддерживать цепную реакцию.

Расщепляющийся (делящийся) материал - материал, ядра атомов которого могут расщепляться при облучении нейтронами, обладающими низкой энергией (идеально, 0-энергией). Расщепляющиеся материалы способны поддерживать ядерную цепную реакцию.

Реактор-размножитель - реактор, предназначенный для производства большего количества расщепляющихся материалов, чем он потребляет. Большинство реакторов-размножителей используют быстрые нейтроны для поддержания устойчивой ядерной цепной реакции, и, поэтому, называются "быстрыми размножителями". Быстрые реакторы, которые не производят меньше расщепляющихся материалов, чем потребляют, именуются "реакторами на быстрых нейтронах".

Репроцессинг (радиохимическая переработка топлива) - выделение урана, плутония и продуктов деления из облученного ядерного топлива.

Тепловой реактор - реактор, использующий тепловые (медленные) нейтроны для поддержания цепной реакции.

Электрон - отрицательно заряженная элементарная частица.

Ядерное деление - расщепление ядра атома тяжелого элемента на два более легких ядра; обычно сопровождается выделением энергии, а также одного или более нейтронов.

Nuclear Wastelands. A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects

MIT Press, 1995 (produced with IPPNW) edited by Arjun Makhijani, Howard Hu, and Katherine Yih

Данная книга предназначена для специалистов, студентов, политических деятелей, журналистов, участников общественных движений за мир и охрану окружающей среды. Она рассказывает об истории ядерных программ всех объявленных и фактических ядерных государств. Вниманию читателя предлагаются документы и детальный анализ, приоткрывающие создаваемую правительствами завесу секретности и обмана, призванную скрыть ущерб, нанесенный населению и природе при создании оружия, которое якобы предназначено для их защиты.

"Никакое будущее исследование по вопросам ядерного оружия не будет убедительным, если оно не содержит ссылок на этот труд."

Джонатан Стил, "Гардиан" (Великобритания), 9 августа 1995 г.

В твердой обложке, 666 сс.. Рекомендуемая цена: \$ 55.00. Специальное предложение для читателей: \$ 40.00.



Fissile Materials In a Glass, Darkly, IEER Press, 1995, by Arjun Makhijani and Annie Makhijani. Имеется русский перевод: «Ядерные материалы сквозь тусклое стекло?», IEER Press, 1995.

Представляет собой доклад IEER, содержащий анализ вариантов утилизации плутония и высокообогащенного урана, а также рекомендации относительно политики по скорейшему переводу этих материалов в форму, непригодную для создания ядерного оружия. Доклад настаивает на том, чтобы США избрали остекловывание плутония в качестве варианта утилизации (как альтернативу скижания его в реакторах). Это позволило бы побудить другие страны прекратить извлекать плутоний из отработавшего топлива энергетических реакторов.

«Если и есть одна вещь, которую я обнаружил в данной области [утилизации ядерных материалов], это - крайне малый выбор практических вариантов, которыми мы в настоящий момент располагаем, и именно поэтому я с таким энтузиазмом встретил... этот доклад,»

Том Грамбли, заместитель министра энергетики США по восстановлению окружающей среды и регулированию отходов.

В мягкой обложке, 126 сс.. Цена: \$ 12. Русский вариант бесплатно.

Plutonium: Deadly Gold of the Nuclear Age. by IPPNW and IEER, International Physicians Press, 1992.

В мягкой обложке, 178 сс.. Цена: \$ 17. Имеется в переводе на японский, французский и немецкий.

Radioactive Heaven & Earth. The Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Testing In, On, and Above the Earth, by IPPNW and IEER, Apex Press/Zed Books, 1991.

В мягкой обложке, 193 сс.. Цена: \$ 17.

The Nuclear Energy Smokescreen. Warhead Safety and Reliability and the Science Based Stockpile Stewardship Program, IEER Report, 1996.

Цена: \$ 10. Краткое изложение доклада имеется в переводе на русский и китайский (бесплатно).

Междунородная пересылка и доставка: Пожалуйста, добавьте \$ 15 за экземпляр *Nuclear Wastelands*; и \$ 5 - за экземпляр других книг.

БЕСПЛАТНЫЕ БЮЛЛЕТЕНИ

Physical, Nuclear and Chemical Properties of Plutonium (*)

Uranium: Its Uses and Hazards (*)

Incineration of Radioactive and Mixed Waste

(*) Имеется в русском переводе

См. нашу страницу в Интернете: <http://www.ieer.org> для получения доступа к нашим бюллетеням и другой информации IEER, включая компьютерный класс по техническому обучению, техническим докладам и аннотациям к наших публикаций./

АННОТИРОВАННАЯ БИБЛИОГРАФИЯ

ПРОБЛЕМЫ ПЛУТОНИЯ

Abrahms, C.W., M.D.Patridge, and J.E.Widrig. *International Nuclear Waste Management Fact Book*. Richland, Washington: Pacific Northwest National Laboratory (for the U.S. Department of Energy), November 1995.

Эта небольшого формата книга предоставляет детальную информацию по ядерным объектам, организациям и их персоналу в различных странах мира.

Albright, David, Frans Berkhout, and William Walker. *World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992*. Oxford and New York: Oxford University Press, 1993.

Это - наиболее полный и надежный источник информации широкой общественности по оружейному плутонию и высокообогащенному урану, содержащий обширный массив данных исторического характера. Некоторые наиболее современные данные были включены в настоящий бюллетень.

Berkhout, Frans, Anatoli Diakov, Harold Feiveson, Helen Hount, Marvin Miller, and Frank von Hippel. "Disposition of separated plutonium", *Science & Global Security* 3, Nos. 3-4 (March 1993): pp. 161-213.

Предоставляет детальный анализ вариантов утилизации плутония, включая безопасное складирование, МОХ-топливо и остекловывание. Кроме того, там рассматриваются источники наработанного плутония.

Chow, Brian G., and Kenneth A. Solomon. *Limiting the Spread of Weapon-Usable Fissile Materials*. Santa Monica, CA: RAND, 1993.

Содержится анализ стоимости использования плутония в реакторах. Делается вывод, что использование МОХ-топлива приведет к чистым затратам из-за низких цен на уран.

U.S. Department of Energy. *Plutonium: The First Fifty Years - United States Plutonium Production, Acquisition and Utilization from 1944 to 1994*. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, February 1996.

Издание данного доклада стало частью "инициативы открытости", выдвинутой министром энергетики США Хейзел О Лири. Доклад призван сделать достоянием общественности ранее секретные данные по различным видам деятельности, связанный с ядерным оружием. Он содержит значительное количество данных по плутонию в США, включая детальную информацию по отдельным объектам. Приводятся данные по американскому импорту и экспортту плутония.

U.S. Department of Energy. *Plutonium Working Group Report on Environmental, Safety and Health Vulnerabilities Associated With the Department's Plutonium Storage*, Draft. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, Publication Number DOE/EH-0415, September 1994.

Обсуждаются проблемы хранения плутония в различных химических формах, а также его из-

бытоков, образовавшихся в результате окончания

Для получения материалов министерства энергетики следует обращаться по адресу:

U.S. Department of Energy
1000 Independence Avenue, SW
Washington, DC 20585

"холодной войны", в частности, ухудшение состояния контейнеров для хранения, что приводит к образованию горючих газов в результате радиолиза. Посвящена ситуации в США.

Kobayashi, Keiji, Kousoku Zoushokuro Monju (FBR Monju). Nanatsumori Shokan, 1994. In Japanese.

Приводятся технические данные по реакторам на быстрых нейтронах, а также информация по отдельным программам по созданию реакторов-размножителей в мире (с фокусом на реактор Монжу).

National Academy of Sciences. *Management and Disposition of Excess Weapons*. Washington, D.C.: Committee on International Security and Arms Control, 1994. In English and Russian.

Содержится описание различных вариантов утилизации избыточного оружейного плутония в Соединенных Штатах. Для дальнейшего рассмотрения рекомендуются три варианта: использование плутония в топливной смеси оксидов плутония и урана; остекловывание плутония и его захоронение в сверхглубоких подземных хранилищах. Подчеркивается, что даже использование плутония в качестве топлива потребовало бы дополнительных затрат из-за низких цен на уран и высокой стоимости производства МОХ-топлива. В основном, посвящено положению в США, но рассматриваются и аналогичные аспекты проблемы в России. Для получения информации по докладу 1995 г. см. статью "Плутоний как источник энергии" настоящего бюллетеня.

Takagi, Jinzaburo, ed. *Plutonium wo Tou* (International Conference on Plutonium). Shakai Shiso-sha, 1993. In Japanese.

Материалы конференции, состоявшейся в 1991 г. Рассматривается широкий спектр вопросов, связанных с использованием плутония как источника энергии, включая МОХ-топливо; опасности, связанные с транспортировкой плутония; угрозы ядерного распространения.

von Hippel, Frank, D. Albright, and B. Levi. *Quantities of Fissile Materials in US and Soviet Nuclear Weapons*. PU/CEES Report No.168. Princeton, New Jersey: Princeton University, Center for Energy and Environmental Studies, 1986.

Содержатся оценки объемов производства оружейных расщепляющихся материалов в США и России, сделанные еще до произведенного в последние годы рассекречивания соответствующих данных. Приводится интересная информация по методам оценок. В частности, оценки производ

АННОТИРОВАННАЯ БИБЛИОГРАФИЯ

ства плутония в Советском Союзе сделаны путем оценок количества криптона-85, выделенного радиохимическими предприятиями в мире. Представляет большой интерес с точки зрения описания методов оценок, используемых специалистами неправительственных организаций, для того, чтобы побудить правительства проводить более открытую информационную политику.

Для получения докладов НАН обращайтесь по адресу:

Committee on International Security and Arms Control
U.S. National Academy of Sciences
2101 Constitution Avenue, NW
Washington, DC 20055
cisac@nas.edu

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Flavin, Christopher, and Nicholas Lenssen. *Power Surge: Guide to the Coming Energy Revolution*. New York and London: W.W.Norton and Company, 1994.

Содержит детальную информацию по возобновляемым источникам энергии.

Информационное агентство "Эхо-Восток", "Энергия будущего Века", Ежеквартальное издание 1996 - наст.время, Киев, на русском и английском языках.

Ежеквартальный журнал посвящен технологиям производства возобновляемых и надежных источников энергии. Издается на русском языке. Английский вариант имеется только в электронном виде и выпускается под редакцией Вашингтонского Центра по возобновляемым и надежным источникам энергии (CREST). К нему можно получить доступ через страницу этого Центра в Интернете: <http://solstice.crest.org>.

Goldemberg, Jose, Thomas B. Johansson, Amulya K.N.Reddy, and Robert H. Williams, eds. *Energy for a Sustainable World*. New York: John Wiley & Sons, 1988; and Johansson, Thomas B., Henry Kelly, Amulya K.N.Reddy, and Robert H. Williams. *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

В этих книгах приводится подробные обсуждение и анализ современного состояния потребления энергии и энергетических альтернатив будущего.

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Ватт - метрическая единица измерения производства или потребления энергии. Одна лошадиная сила равна приблизительно 746 Ватт.

Гига- - один миллиард. Один электрический гигаватт (равный 1000 мВт) является приблизительной мощностью одной крупной АЭС.

Джоуль - метрическая единица измерения энергии, равная одному Ватту за секунду.

Кило- - одна тысяча. Киловатт представляет собой основную единицу измерения мощности электроэнергии.

Киловатт-час (кВт·ч) - единица измерения энергии, равная 3,6 млн.джоулей. Это - количество энергии, произведенное источником мощностью в 1 кВт за 1 час.

Мега- - один миллион. Мегаватт (мВт) представляет собой основную единицу измерения мощности крупных электростанций. При использовании этого термина в контексте производства электроэнергии обычно имеются ввиду мощности по производству электроэнергии.

Пета- - тысяча триллионов (или один квадриллион). Крупномасштабное потребление энергии обычно измеряется в петаджоулях. Предлагаемая ООН в качестве стандарта одна тонна условного топлива (в угольном эквиваленте) составляет примерно 29 млрд.джоулей. Таким образом, один петаджоуль равен около 34500 тонн условного топлива.

Тера- - один триллион.

Экза- - миллион триллионов (один квинтиллион).

Планированию и подготовке бюллетеня "Энергетика и безопасность" способствовали регулярные советы друзей со всего мира. Наша эффективность в значительной степени зависит и от ваших предложений. Мы призываем комментарии от наших читателей и, если позволяет ограниченный объем, будем публиковать их отдельные письма в будущих выпусках. Мы оставляем за собой право сокращать публикуемые письма, указывая, что предлагаемый вниманию читателя текст был сокращен.

The Institute for Energy and Environmental Research
6935 Laurel Avenue Takoma Park, MD 20912

Adress correction requested

