

# ПРОБЛЕМЫ ПЛУТОНИЯ

## НОВЫЕ МАСШТАБЫ ГЛОБАЛЬНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

НОБОРУ ОИ

**Р**азвитие мировых событий в 90-х гг. выдвинуло перед международным сообществом новую серьезную проблему, связанную с накоплением плутония из гражданских и военных ядерных программ. У истока проблемы стоит ряд причин, в том числе окончание холодной войны и последовавшие за этим шаги по демонтажу ядерных боеприпасов и передаче излишков плутония, находившегося в боеголовках, в гражданский сектор, а также перемены, повлиявшие на ситуацию в ядерной промышленности, особенно задержки с вводом в коммерческую эксплуатацию быстрых реакторов-размножителей, использующих в качестве топлива плутоний. Эти и другие перемены вызвали к жизни новые реальности, влияющие на безопасность и эффективность обращения с плутонием, и странам приходится формулировать новые политические подходы и программы в соответствии с новыми задачами.

В конце 1997 г. количество отработавшего реакторного топлива в хранилищах всего мира оценивалось в более чем 130 тыс. т и содержание плутония в нем — около 1 тыс. т. Кроме того, в хранилищах находились 170 т плутония, выделенного в результате гражданских программ по переработке топлива, и в дополнение к этому Россия и США запланировали передачу из военного сектора 100 т излишков плутония из демонтированных боеголовок, которые больше не требуются для их оборонных целей.

Серьезность этой двуединой задачи заключается в том, что

плутоний представляет собой ценный источник энергии (кстати, 1 г плутония эквивалентен примерно 1 т нефти) и в то же время это предмет глобальной обеспокоенности из-за его потенциальной опасности для здоровья и возможности использования для изготовления ядерного оружия. В данной статье рассматриваются некоторые аспекты проблемы обращения с плутонием в гражданских ядерных программах на долгосрочную перспективу в контексте глобального сотрудничества и эволюции роли самого МАГАТЭ, призванного обеспечивать интересы своих государств-членов. Статья основана на дискуссиях во время международных форумов, включая Международный симпозиум по стратегиям в области ядерного топливного цикла и реакторов в июне 1997 г. (см. соответствующую статью на стр. 7.). При этом в ней не затрагиваются аспекты нераспространения, связанные с данной проблемой, включая осуществляемую МАГАТЭ деятельность по гарантиям и проверке.

### СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ

**Плутоний из гражданских программ.** Плутоний является одним из элементов, образующих в ядерных реакторах во время их работы. Он может выделяться, храниться и в дальнейшем использоваться в топливе повторного цикла для АЭС. (Уместно упомянуть, что использование плутония для производства энергии не является новшеством. Почти 40% электроэнергии в каждом тепловом реакторе на

урановом топливе производится в результате расщепления изотопов плутония, накапливаемых при сгорании урана.) Всего в 1997 г. находились в эксплуатации 443 энергетических реактора, давая суммарный выход электроэнергии около 350 ГВт (эл.). На всех этих энергетических реакторах производился плутоний; например, отработавшее топливо легководных реакторов содержит около 1% плутония.

По оценкам МАГАТЭ, в 1997 г. из ядерных энергетических реакторов во всем мире было извлечено 10 500 т отработавшего топлива; в этом количестве содержится около 75 т плутония. По расчетам, ежегодные показатели производства останутся более или менее неизменными до 2010 г. Прогнозируется, что за это время совокупный объем плутония в отработавшем топливе возрастет до примерно 1700 т.

По имеющимся оценкам, в 1997 г. было переработано около 3 тыс. т отработавшего топлива энергетических реакторов, что соответствует около 30% общего количества. Примерно 24 т плутония были выделены на перерабатывающих заводах, и 9 т было использовано главным образом в качестве смешанного ураноплутониевого оксидного топлива (МОХ) в легководных реакторах. Дисбаланс между выделением и использованием плутония привел к накоплению в гражданском секторе к концу 1997 г. около 170 т

*Г-н Ои — старший сотрудник  
Департамента ядерной энергии  
МАГАТЭ.*

инвентарных запасов выделенного плутония.

По прогнозам МАГАТЭ в отношении инвентарных запасов плутония, через несколько лет темпы выделения "гражданского" плутония и его использования сбалансируются. Это произойдет благодаря росту мощностей производства МОХ, которые достигнут 360 т тяжелого металла в год к 2000 г. За пределами этого периода ожидается умеренное снижение инвентарных запасов до уровня около 130 т. Несмотря на усилия по сокращению текущих инвентарных запасов выделенного "гражданского" плутония, мировые инвентарные количества останутся на достаточно высоком уровне (см. график).

**Плутоний, заявленный как более не требуемый для целей обороны.** В дополнение к "гражданскому" плутонию происходит высвобождение плутония из демонтированных боеголовок. В соответствии с договорами ОСВ-1 и ОСВ-2 многие тысячи ядерных боеголовок США и России занесены в списки на уничтожение в течение следующего десятилетия. В результате ожидается, что из военных программ каждой стороны будет изъято по крайней мере по 50 т плутония.

## ОБРАЩЕНИЕ С ПЛУТОНИЕМ

Возникает вопрос, что делать с плутонием как в выделенной форме, так и с содержащимся в отработавшем топливе. Требуется решения проблемы, связанные с потенциальным использованием плутония в качестве источника энергии и для производства ядерного оружия. Академия наук США предложила конверсию экзотического плутония в форму, защищенную от кражи и захвата интенсивной радиоактивностью ("стандарт отработавшего топлива"). Однако такие предложения могли бы быть применены лишь на довольно короткий срок. В

## ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ МИРОВЫЕ ГРАЖДАНСКИЕ ИНВЕНТАРНЫЕ ЗАПАСЫ ВЫДЕЛЕННОГО ПЛУТОНИЯ



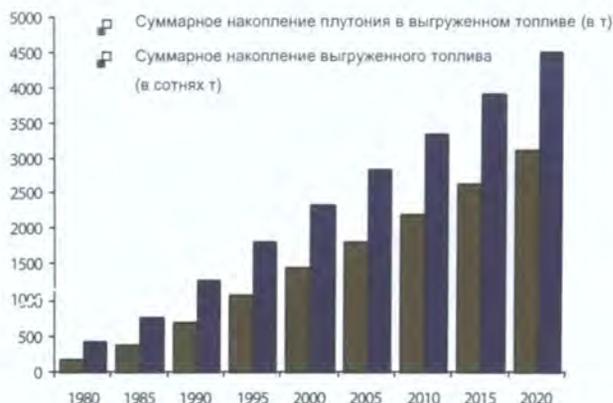
течение 200 лет защита в виде интенсивной радиоактивности исчезнет в результате распада большинства радиоактивных нуклидов. При захоронении отработавшего топлива в геологической формации оно могло бы рассматриваться как потенциальная "плутониевая шахта", поскольку в какой-то отдаленный во времени момент плутоний мог бы быть добыт и выделен.

**Сжигание излишков плутония.** В настоящее время плутоний используется в легководных реакторах в качестве топлива МОХ, а также в небольших количествах при разработке быстрых реакторов. Загружены топливом МОХ 22 энергетических реактора в пяти странах (Франция, Германия, Швейцария, Бельгия, Япония), и ожидается, что их число к 2000 г. возрастет с 36 до 48. Использование МОХ сокращает инвентарные количества выделенного плутония и рассматривается в качестве промежуточной меры перед возможным полномасштабным использованием плутония в быстрых реакторах в следующем столетии. Известно, что многократное повторное использование плутония в легководных реакторах ведет к его выгоранию, что, в свою очередь, ограничивает число повторных циклов до двух или

трех. Однако такой выгоревший плутоний может использоваться как топливо в быстрых реакторах. Без таких реакторов отработавшее топливо МОХ все равно окажется в конечном счете в местах окончательного захоронения или в специально оборудованных хранилищах.

Может пройти еще несколько десятилетий, прежде чем широкое использование плутония в качестве источника энергии станет реальностью. Ввод в коммерческую эксплуатацию быстрых реакторов оказался отложенным в основном по экономическим причинам и из-за опасений нарушить режим нераспространения. Любой быстрый реактор, который проектируется или строится сегодня, не дает явных экономических преимуществ по сравнению с легководными реакторами, которые используют практически широко доступный и сравнительно дешевый уран. Хотя быстрые реакторы могут стать эффективной основой для устойчивого производства ядерной энергии, их конкурентоспособное внедрение на рынок электроэнергии ожидается не ранее 2030 г. (1—2% прогнозируемой мощности ядерной энергетики в 2030 г.). Однако и этот прогноз может оказать-

### СУММАРНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ВЫГРУЖЕННОГО ТОПЛИВА И ПЛУТОНИЯ В ВЫГРУЖЕННОМ ТОПЛИВЕ



ся слишком оптимистичным. Нельзя отрицать возможности успешной конкуренции с быстрыми реакторами других источников энергии. Но и в этом случае проблемы обращения с отработавшим топливом и плутонием будут требовать решения.

Существуют ли другие методы для сжигания излишнего плутония? Изучаются варианты использования возбуждаемых ускорителями систем сжигания в инертных матрицах и применения тория для сжигания плутония. Но эти технологии еще находятся на ранних стадиях разработки.

**Использование плутония из оборонного сектора.** В отношении плутония, высвобождаемого из оборонного сектора, как США, так и Россия предприняли шаги, направленные на решение этой задачи. Соединенные Штаты в январе 1997 г. приняли решение о "двухколейной" стратегии, а именно: использовать основную часть плутония в топливе МОХ для легководных реакторов, а остальное законсервировать. Россия формально не заявляла о своей политике в этом отношении, но основное внимание обращено на использование плутония в качестве реакторного топлива. Прежде плутоний был в основном предметом двусторонней обеспокоенности в отношениях между США и Россией.

Теперь же изъятие из военных программ и пути использования плутония, который ранее применялся в оружии, становятся одним из наиболее важных факторов новой реальности, с которой сталкивается международное сообщество. Решение возникающих в связи с этим проблем потребует политической воли, достаточного финансирования и эффективного международного сотрудничества.

Следует отметить, что избавление от 50 т плутония технически осуществимо по времени в период от 20 до 40 лет. Поэтому добавление оружейного плутония не внесет радикальных изменений в общий характер связанных с плутонием проблем ядерного сообщества. Однако необходимо подчеркнуть, что использование плутония из оборонного сектора явится огромным шагом вперед на пути к разоружению и должно стать самой приоритетной задачей.

**Хранение отработавшего топлива.** Логический сценарий для плутония из гражданских программ предусматривает либо долгосрочное хранение отработавшего топлива, либо его захоронение в геологические формации. Те же методы распространяются на вариант переработки, поскольку отработавшее топливо МОХ закончит свой путь в хранилищах или в местах геологического захороне-

ния после двух или трех циклов использования.

Долгосрочное хранение отработавшего топлива и выделенного плутония имеет довольно хорошо отработанную технологию и не представляет серьезных технических проблем. Технология же геологического захоронения еще должна быть продемонстрирована, поскольку до сих пор ни в одной стране не выдана лицензия на место такого захоронения.

Большое количество отработавшего топлива может храниться достаточно просто. Его объемы намного меньше и форма более компактна по сравнению с другими видами отходов современных отраслей промышленности. Отработавшее топливо легче изолируется от окружающей среды, чем отходы электростанций на ископаемом топливе, которые в основном выбрасываются в атмосферу. Отработавшему топливу присущи химическая стабильность и компактность, а тепловые условия хранения с течением времени улучшаются в связи с распадом продуктов деления.

То, что для хранения отработавшего топлива необходимо весьма малое пространство, можно проиллюстрировать двумя примерами. Установка CLAB в Швеции представляет собой систему водных бассейнов длиной 120 м, шириной 20 м и глубиной 27 м. Система расположена в подземной скальной полости, где может храниться 5 тыс. т отработавшего топлива. Эксплуатация установки началась в 1985 г., и к 1997 г. в ней находится на хранении в общей сложности 2600 т отработавшего топлива из реакторов на кипящей воде и реакторов на воде под давлением.

Примером сухого хранения может служить АЭС "Пойнт Лепро" в Канаде, где 1026 т отработавшего топлива реакторов Канду хранится с 1991 г. в 100 бункерах. Каждый бункер представляет собой бетонную емкость диаметром

3,07 м и длиной 6,1 м. Сухому хранению может быть отдано предпочтение, особенно для долгосрочного хранения после продолжительного выдерживания под водой, принимая во внимание легкость обращения с топливом и содержания хранилища, а также присущие этому методу характеристики безопасности. Накоплен почти двадцатилетний позитивный опыт сухого хранения отработавшего топлива. В системах сухого хранения могут использоваться бетонные емкости, выложенные сталью бетонные контейнеры и колодцы. Хотя сухое хранение «моложе» по сравнению с мокрым методом, оно уже стало зрелой технологией, и объемы сухого хранения начинают расти быстрыми темпами. К концу 1997 г. в сухих хранилищах восьми стран было размещено около 3600 т отработавшего топлива (примерно 3% мирового объема хранения).

В прошлом хранение отработавшего топлива рассматривалось как промежуточная операция в обращении с отработавшим топливом. Однако необходимость долгосрочного хранения на протяжении многих десятилетий потребует отказа от такого подхода.

В итоге представляется, что современные проблемы ядерного топливного цикла сводятся к рассмотрению использования смешанного оксидного топлива (в той степени, в которой государства решат заниматься переработкой) и выделенного плутония, а также долгосрочного хранения/удаления отработавшего топлива, вероятнее всего — в геологических формациях. По мере высвобождения плутония из военного сектора добавится задача его непосредственного употребления.

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНТЕКСТ

С начала 90-х гг. внимание международной общественности к проблемам, связанным с плутонием, возросло.



■ В 1992—1993 гг. МАГАТЭ провело два совещания по обсуждению вопросов, связанных с накоплением выделенного плутония из гражданских программ. В этой связи была затронута концепция международного хранения плутония, не привлекавшая внимания с середины 80-х гг. В последующие годы проблемы обращения с плутонием обсуждались девятью государствами (Бельгией, Германией, Китаем, Россией, Соединенным Королевством, США, Францией, Швейцарией и Японией), которые сформировали независимую от МАГАТЭ рабочую группу. Группа недавно закончила подготовку Международных руководящих принципов по обращению с плутонием (опубликованных в марте 1998 г. в документе INFCIRC/549). В документе изложены политические подходы каждого из правительств к обращению с плутонием, используемым в мирных целях. Имея в виду повысить прозрачность и понимание общественностью проблем обращения с плутонием, государства — участники группы согласились время от времени публиковать заявления с целью объяснения своих национальных стратегий по ядерной энергетике и топливному циклу, а также общих

планов по управлению национальными запасами плутония. Кроме того, они в соответствии с Руководящими принципами взяли на себя обязательство публиковать ежегодное заявление по плутониевым запасам.

■ В 1994 г. под эгидой Агентства по ядерной энергии была создана специальная группа экспертов для изучения широкого спектра технических вопросов обращения с плутонием. В ее докладе, опубликованном в мае 1997 г., изложены технические варианты технологий обращения с плутонием в гражданском секторе. В состав участников группы вошли представители пятнадцати стран и трех международных организаций (АЯЭ, МАГАТЭ и Европейской комиссии).

■ В 1995 г. Конференция по рассмотрению и продлению действия Договора о нераспространении ядерного оружия призвала к большей прозрачности работ по обращению с плутонием для гражданских целей, включая информацию об уровнях запасов и их связи с национальными топливными циклами. Один из главных комитетов Конференции также

*Таблетки смешанного оксидного топлива с содержанием около 5% плутония. (Фото: Cogema)*

призвал к проведению постоянного международного анализа вариантов политических подходов в отношении обращения с запасами плутония и их использования, включая возможность сдачи их на хранение МАГАТЭ и варианты по созданию регионального центра топливного цикла.

■ Участники Московского саммита по вопросам ядерной безопасности в 1996 г. также подчеркнули важность международного сотрудничества. Признавая, что первоочередную ответственность за безопасное обращение с оружейными расщепляющимися материалами несут государства, которые их произвели и обладают ими, они заявили, что "приветствуется содействие со стороны других государств и международных организаций там, где это желательно".

■ После Московского саммита в том же 1996 г. в Париже состоялось Международное совещание экспертов по безопасному и эффективному обращению с оружейными расщепляющимися материалами, заявленными как более не требуемые для целей обороны. В совещании участвовали представители МАГАТЭ, десяти стран и Европейской комиссии. Это совещание было первым международным форумом, где обсуждались актуальные проблемы плутония, имеющие преимущественно двусторонний характер. МАГАТЭ использовало предоставленную возможность для информирования участников о своем опыте и компетенции в вопросах, относящихся к международному обращению с плутонием.

■ В сентябре 1996 г. на Генеральной конференции МАГАТЭ была выдвинута так называемая Трехсторонняя инициатива США, России и МАГАТЭ по проверке ядерных материалов, изымаемых из оборонного сектора. Было достигнуто согласие относительно совместного изучения

технических, юридических и финансовых вопросов, связанных с проверкой таких материалов.

■ В июне 1997 г. состоялся Международный симпозиум МАГАТЭ на тему "Стратегии в области ядерного топливного цикла и реакторов: адаптация к новым реалиям", посвященный рассмотрению состояния и развития основных проблем и изменений, исходя из глобальной перспективы. Цель симпозиума заключалась в том, чтобы подготовить для лиц, принимающих решения, и общественности научную оценку различных стратегий в области топливного цикла и реакторов с уделением особого внимания проблемам производства, использования и удаления плутония.

■ В 1997 г. государства приняли международные нормы безопасности по обращению с отработавшим топливом. На Генеральной конференции МАГАТЭ в сентябре 1997 г. была открыта для подписания Объединенная конвенция по безопасности обращения с радиоактивными отходами и безопасности обращения с отработавшим топливом.

**Роль МАГАТЭ.** Роль МАГАТЭ в этой области развивается в соответствии с интересами государств-членов. Наряду с выполнением признанной роли в осуществлении мер ядерных гарантий и проверки, текущая и планируемая деятельность МАГАТЭ по обращению с плутонием в гражданском секторе включает:

■ *Служить форумом для обмена информацией.* Это означает беспристрастно представлять истинное положение вещей для общего понимания различных важных аспектов ядерного топливного цикла; регулярно публиковать оценки мировых инвентарных количеств плутония; содействовать усилиям по повышению транспарентности для роста общественного доверия посред-

ством периодической публикации объективных докладов и результатов исследований; и поощрять необходимые исследования и разработки, включая возможное международное сотрудничество в области быстрых реакторов, с целью способствовать сокращению запасов плутония.

■ *Помощь странам в создании инфраструктур для безопасного и надежного обращения с плутонием и отработавшим топливом.* В качестве примеров такой помощи можно привести публикацию Агентством Руководства для безопасного хранения отработавшего топлива энергетических реакторов и недавнюю подготовку к публикации Доклада по безопасному обращению с плутонием и его хранению.

■ *Формулирование необходимых международных договоренностей.* Эта деятельность включает изучение возможности международных мер по обращению с плутонием или его хранению, исходя из перспектив безопасности и охраны, а также организацию регионального или международного сотрудничества с целью поиска экономически эффективных путей решения проблем обращения с плутонием и отработавшим топливом.

Результатом проведения в 1997 г. Симпозиума МАГАТЭ по ядерному топливному циклу было создание в 1998 г. Международной рабочей группы по рассмотрению вариантов ядерного топливного цикла для поддержания диалога между государствами по важным проблемам в этой области. Рабочая группа призвана стать основным форумом для обсуждения задач сотрудничества, включая роль МАГАТЭ в использовании отработавшего топлива и плутония, международном хранении отработавшего топлива энергетических и исследовательских реакторов и в разработке международных мер по обращению с плутонием. □