

Энергетика и Безопасность

Номер 3 1997

Издание I E E R

ПЛУТОНИЙ КАК РЕАКТОРНОЕ ТОПЛИВО

Аржун Макхиджани и Анита Сет

По окончании "холодной войны" Россия и США оказались перед лицом беспрецедентной и неожиданной проблемы: что делать с избыточными запасами плутония и высокообогащенного урана (ВОУ) – двух основных материалов по производству ядерного оружия. В принципе, среди этих двух материалов уран представляет собой меньше проблем, поскольку его можно разбавить до уровня низкообогащенного уранового (НОУ) топлива, широко используемого в ядерных реакторах. В 1993 г. США и Россия подписали соглашение, в соответствии с которым Соединенные Штаты согласились закупить в течение 20-летнего периода 500 т российского ВОУ, который Россия разбавила бы до низкообогащенного уранового топлива для АЭС. Несмотря на то, что первоначально выполнение этого соглашения продвигалось вперед медленными темпами, в настоящее время его реализация идет по согласованному графику.

Более трудной является задача конвертации избыточного плутония в формы, непригодные для использования при производстве ядерного оружия. Соединенные Штаты объявили, что их избыточные запасы плутония составляют 50 т (из общих запасов в 100 т) (1), в то время как Россия пока не раскретила размеры своих запасов. Общие запасы российского плутония в военном секторе составляют, предположительно, порядка 130 т, а, возможно, и превышают указанную цифру.

США и Россия расходятся во мнении относительно того, как наилучшим образом распорядиться избыточным оружейным плутонием. Российское Министерство атомной энергии (Минатом) рассматривает плутоний в качестве ценного энергетического ресурса, в то время как в США преобладает мнение, что он является фактором риска (хотя и здесь нет полного консенсуса). Несмотря на указанные принципиальные расхождения, начиная с 1994 г. Россия и США сотрудничают в разработке методов утилизации избыточного оружейного плутония. Совместное российско-американское исследование по утилизации плутония, подготовленное группой официальных лиц и специалистов из обеих стран и опубликованное в сентябре 1996 г., представляет собой один из результатов этого сотрудничества.

См. стр. 10

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

ПРИВЕДЕТ ЛИ УТИЛИЗАЦИЯ К РЕНЕССАНСУ ПЛУТОНИЕВОЙ ЭКОНОМИКИ?

Утилизация избыточного оружейного плутония в России и США представляет собой насущную задачу в области ядерного нераспространения. Однако нынешняя политика, направленная на переработку избыточного плутония в МОХ-топливо вызывает серьезные опасения как с точки зрения ядерного распространения, так и безопасности. Использование МОХ-топлива в качестве метода утилизации плутония позволит создать инфраструктуру, объекты и финансовые интересы долговременной плутониевой экономики и, тем самым, породит дополнительную угрозу ядерному нераспространению.

Предполагалось, что если Соединенные Штаты согласятся с идеей использования МОХ-топлива, Россия пойдет на то, чтобы отказаться от переработки отработанного МОХ-топлива, а также от коммерческого использования объектов, созданных для утилизации избыточного оружейного плутония. Одна-



Для обращения с плутонием необходимо использовать подобные камеры, поскольку попадание даже его небольшого количества в дыхательные пути чревато серьезным риском.

ко эти надежды не сбылись.

См. стр. 2

В НОМЕРЕ

Медицинские последствия обращения с плутонием.....	3 стр.
Использование МОХ-топлива во Франции и России.....	5 стр.
Как плутоний изменяется со временем.....	8 стр.

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА со стр. 1

Вместо этого, под прикрытием разговоров об утилизации Соединенные Штаты, как представляется, не только пересматривают свою осуществлявшуюся десятилетиями политику неиспользования плутония в реакторах АЭС, но и приступили к поддержке российских планов создания плутониевой экономики.

Совместное российско-американское исследование по утилизации плутония, подписанное научными советниками президентов Клинтона и Ельцина (см. основную статью), следующим образом свидетельствует об изменении политики США: "При выборе варианта использования в реакторе в целях облегчения наиболее быстрой практически достижимой утилизации конечный материал не должен перерабатываться и подвергаться повторному использованию, как минимум, до тех пор, пока не уничтожены существующие избыточные запасы выделенного плутония. После завершения утилизации этих запасов может быть принято окончательное решение, следует ли направлять интенсивно радиоактивные плутоний-содержащие материалы, образующиеся в результате избрания варианта с реакторами, для прямого захоронения в геологических формациях, как это предлагают Соединенные Штаты, либо, в соответствии с нынешней позицией России, их следует направить на репроцессинг для повторного выделения плутония" (1). Далее исследование содержит недвусмысленную фразу: "...В конечном итоге, Россия будет повторно использовать весь плутоний, остающийся в [отработанном МОХ-] топливе". Кроме того, "цели США в области утилизации плутония" будут удовлетворены, если отработанное МОХ-топливо будет "храниться в течение нескольких десятилетий перед тем, как подвергнуться репроцессингу" (2).

Не столь важно, перерабатывается ли отработанное МОХ-топливо сейчас или через несколько десятилетий. В случае создания и поддержания в рабочем состоянии инфраструктуры по производству МОХ-топлива и его репроцессингу, в обозримом будущем всегда найдется достаточное количество другого отработанного топлива для переработки и избыточного плутония - для загрузки производственных мощностей предприятий по производству МОХ-топлива. Более того, если Россия будет перерабатывать отработанное МОХ-топливо, не сможет быть реализована сама идея о том, что использование МОХ-топлива позволит поместить избыточный плутоний в высокорadioактивную матрицу с тем, чтобы он не был более применен для производства вооружений. Несмотря на то, что российское правительство, вероятнее всего, не намерено использовать реакторный плутоний для производства оружия, некоторые правительства неядерных государств или террористические организации могут быть готовы заплатить высокую цену за этот оружейный материал. Кроме того, использование оружейного плутония в быстрых реакторах-размножителях не обязательно приведет к значительному изменению его изотопного состава. На практике, реакторы-размножители при эксплуатации с урановыми покрытиями могут быть использованы в целях повышения качества реакторного плутония до уровня оружейного. Основным сдерживающим фактором здесь выступает необходимость финансовых затрат на создание реакторов и радиохимических предприятий.

В совместном исследовании также говорится, что "имеется некоторая неопределенность относительно того, является ли стоимость вывода из эксплуатации объектов [МОХ-топлива], специально построенных для производства электроэнергии [в России], составной частью задачи по утилизации плутония, поскольку эти

объекты, вероятно, будут использоваться в рамках гражданской плутониевой программы после завершения кампании по утилизации плутония" (3). Использование предприятий по производству МОХ-топлива в коммерческих целях после завершения утилизации оружейного плутония позволит обеспечить важнейшее недостающее звено в российских планах создания плутониевой экономики.

См. стр.15

Энергетика и безопасность

"Энергетика и безопасность" - бюллетень, посвященный вопросам ядерного нераспространения, разоружения и энергетической безопасности. Публикуется четыре раза в год Институтом проблем энергетике и окружающей среды, находящимся по адресу:

The Institute for Energy and Environmental Research
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 проблем энергетике и окружающей среды (IEER) обеспечивает общественность и официальные лица надежными, ясными и глубокими исследованиями по широкому кругу вопросов. Целью IEER является принесение научного анализа в деятельность общественности для демократизации науки и создания более здоровой окружающей среды.

Сотрудники IEER:

Аржун Махиджани - президент
Бернд Франке - исполнительный директор
Пэт Ортмайер - координатор по внешним связям
Анита Сет - координатор по международным связям
Роберт Брукс - помощник координатора по внешним связям
Энни Махиджани - научный сотрудник
Луис Чалмерс - заведующий библиотекой
Дайана Кон - библиотекарь
Марк Фиораванти - инженер
Бетси Турлоу-Шилдс - администратор
Мелисса Акин - представитель в России

Благодарим наших спонсоров

Выражаем благодарность нашим спонсорам, благодаря поддержке которых стало возможным осуществление нашего глобального проекта по безопасности ядерных материалов:

Фонду У.Элтона Джоунса; Фонду Джона Д. И Катрин Макаруров; Фонду CS; Фонду НКН.

Мы также благодарим других спонсоров IEER, поскольку в нашем глобальном проекте мы используем материалы, наработанные при осуществлении предоставленных ими грантов:

Фонд "Паблик Уэлфер", Фонд Джона Мерка, Фонд "Плошерз", Программу "Юнитаринан Юниверсалист Витч" в Шелтер-Рок, Рокфеллер Файнэншл Сервисез, Благотворительный фонд Стюарта Р. Мотта, Фонд Таун-Крик, Фонд Белдона II.

Дизайн: Cutting Edge Graphics, Washington, DC
Фото: Роберт дель Тредичи. Атомик фотограферз гилд
Редактор английского издания: Анита Сет

Русское издание:

Директор: Александр Пикаев
Научный консультант: Олег Бухарин
Русское издание бюллетеня подготовлено при содействии Комитета по критическим технологиям и нераспространению

Весь тираж "Энергетики и безопасности" распространяется бесплатно.

Выпуск 3 русского и английского изданий вышел в свет в июле 1997 г.

МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ПЛУТОНИЕМ

Плутоний-239 является чрезвычайно опасным канцерогеном, который может быть также использован при производстве ядерного оружия. Такое сочетание свойств превращает плутоний в одно из наиболее опасных веществ. Плутоний-239, крайне редко встречающийся в природе, в течение последних 50 лет был искусственно произведен в больших количествах в результате реализации гражданских и военных программ.

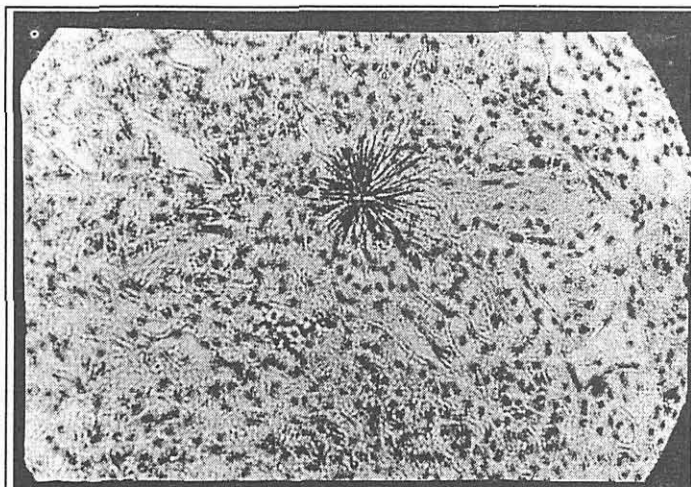
Имеются и другие радиоактивные канцерогены как, например, радий-226, но их либо нельзя использовать для производства ядерного оружия, либо они не встречаются в достаточных количествах. Для создания ядерных боеприпасов можно также использовать высокообогащенный уран (ВОУ), но он примерно в тысячу раз менее радиоактивен по сравнению с плутонием-239. Опасность, которую представляет плутоний-239, усугубляется тем обстоятельством, что его крайне сложно обнаружить за пределами хорошо оборудованных и безопасных объектов, либо в организме человека. Это вызвано тем, что наиболее эффективный способ обнаружения радионуклидов путем облучения гамма-лучами, представляется весьма слабым.

Канцерогенные свойства плутония-239 определяются, главным образом, интенсивным излучением альфа-радиации. Тяжелые альфа-частицы передают свою энергию другим атомам и молекулам путем столкновений, которые происходят значительно реже по сравнению с более легкими электронами, представляющими собой основное средство радиационного поражения при гамма- и бета-излучении (1). Альфа-частицы перемещаются на небольшом пространстве между клетками организма, периодически сталкиваясь с ними. Это приводит к значительно более существенному биологическому ущербу по отношению к единице энергии клетки.

Относительная биологическая эффективность различных видов радиации по нанесению ущерба биологическим организмам носит название "относительная биологическая эффективность" (ОБЭ). Она варьируется в зависимости от типа радиации, ее энергетика, а также органа, подвергаемого облучению. Качественный фактор является наиболее простым показателем измерения опасности, представляемой альфа-, бета-, гамма- и нейтронным облучением относительно друг друга, применяемого в целях рекомендаций в области радиационной безопасности. В настоящее время Международная комиссия по радиационной защите рекомендует качественный фактор равный 20 для альфа-радиации по сравнению с гамма-радиацией. (2)

При попадании в организм плутоний-239, как правило, оседает в мягких тканях, особенно, в печени, а также на поверхности костных тканей, в костном мозгу и других не содержащих кальций костных тканях. Его концентрация в костном мозгу приводит к особо опасным последствиям при происходящем там генерировании крови. Напротив, другое излучающее альфа-частицы вещество, радий-226, химически сопряжен с кальцием и оседает в кальций-содержащих костных тканях.

При нахождении вне организма плутоний-239 менее опасен по сравнению с источниками гамма-радиации. Поскольку альфа-частицы способны передавать свою энергию лишь на короткие расстояния, помещенный вблизи биологического организма плутоний-239 передает практически всю энергию мертвым верхним слоям кожи, где он не способен принести биологического ущерба.



*Черная звезда показывает, как частичка плутония излучает альфа-частицы в легком обезьяны (изображение увеличено)
Фото Роберта дель Тредичи*

Образующиеся в результате распада плутония-239 гамма-лучи проникают в организм, но они достаточно слабее. Поэтому получение существенных доз облучения гамма-радиацией возможно лишь при наличии значительных количеств этого элемента. Следовательно, плутоний-239 подлежит транспортировке при наличии минимальной защиты и не представляет серьезной прямой радиологической опасности. Наиболее серьезную опасность представляет попадание плутония-239 внутрь организма путем через дыхательные пути, особенно если он присутствует в наиболее распространенной оксидной форме. Другая опасность связана с попаданием плутония-239 в кровь через раны и порезы. По сравнению с проникновением в дыхательные пути риск его попадания в кровь через пищеварительный тракт, как правило, гораздо ниже, поскольку плутоний не способен легко проникать в кровь через кишечник и его большая часть выводится из организма естественным путем.

Характер ущерба, наносимого плутонием-239, а также вероятность такого ущерба зависят от способа попадания плутония в организм, химической формы плутония и размера его частиц. Наиболее распространенный способ попадания плутония в организм человека, непосредственно не работающего с плутонием, - через дыхательные пути и пищеварительный тракт. В последнем случае плутоний попадает в организм посредством зараженных частичек почвы или еды. Проникновение в организм через порезы, в основном, представляет опасность для персонала, занятого на предприятиях, связанных с обращением плутония, а также (в прошлом) для участников наземных ядерных испытаний.

По сравнению с тем же количеством плутония, размельченного на небольшие частицы, более крупные частицы плутония наносят, обычно, меньший биологический ущерб и несут меньший риск заболеваний. При вдыхании крупные частицы могут осесть на волосном покрове носовой полости, что препятствует их попаданию в легкие. Небольшие частицы достигают бронхиальных труб и легких, где они и оседают, поражая окружающие ткани.

На единицу радиоактивности другие изотопы плутония, излучающие альфа-радиацию, имеют аналогичные с плутонием-239 медицинские последствия. Однако на единицу веса степень поражения зависит от изотопа. Например, на единицу веса плутоний-238 в 270 более радиоактивен, чем плутоний-239.

Экспериментальные данные

Медицинские последствия обращения с плутонием исследовались, главным образом, посредством лабораторных экспериментов над животными. Частично имеющаяся база данных основана на исследованиях в отношении пораженных плутонием персонала и жителей местностей, прилегающих к плутониевым объектам. Измерения количества плутония, осевшего в легких и в организме человека в целом, наряду с последующим наблюдением за здоровьем пораженных лиц обеспечили информацию, дополняющую экспериментальные данные. Кроме того, эксперименты по введению плутония в организм человека проводились в Соединенных Штатах в 1945-47 гг. В тот период в раках эксперимента по изучению воздействия плутония на метаболизм человека подверглось искусственному заражению 18 человек. Согласие испытуемых было получено без предоставления им полной информации, и после рассекречивания эксперимента в 1993 г. он подвергся широкой критике.

Эксперименты на собаках показали, что даже небольшое количество плутония в нерастворимой форме приводит к образованию рака легких с вероятностью около ста процентов. Методом экстраполяции было рассчитано, что для образования рака легких с летальным исходом достаточно 27 микрограммов плутония, попавших в легкие. Разумеется, подобная экстраполяция на основе экспериментов с животными, связана с некоторыми неопределенностями. Тем не менее, можно предположить, что несколько десятков микрограммов плутония-239, осевших в легких, в огромной степени увеличивает риск заболевания раком легких. Большие количества плутония также способны вызвать другие заболевания в течение небольшого срока после поражения.

Поражающие факторы небольших количеств плутония пока точно неизвестны. Это объясняется рядом факторов: трудностью измерения попавшего в организм количества плутония;

значительные индивидуальные различия в функциях человеческого организма и скорости их протекания (что в каждом конкретном случае приводит к различной степени поражения при заражении одинаковым количеством плутония);

наличие других осложняющих наблюдение факторов, например, курение;

отсутствие точных данных (например, о точном времени попадания плутония в организм);

различная и неизвестная степень поражения организма другими канцерогенами (как радиоактивными, так и нерадиоактивными) в течение длительного периода наблюдения;

отсутствие полномасштабного наблюдения и анализа за здоровьем персонала промышленности по производству ядерного оружия.

Одна из немногих долгосрочных попыток изучить воздействие на человеческий организм поражающих факторов микродоз плутония была предпринята в отношении 26 "белых лиц мужского пола", зараженных плутонием в ходе осуществления Манхэттенского проекта по созданию атомной бомбы в Лос-Аламосе в 1944 и 1945 гг. Эти лица наблюдались в течение длительного периода времени, причем их медицинские данные периодически публиковались. Последние результаты были опубликованы в исследовании 1991 г.(3)

Количество плутония, осевшего в организме наблюдаемых, оценивалось в интервале от "110 Bq (3nCi)... до 6960 Bq (188nCi)"(4), что соответствовало в весовом выражении от 0,043 до 3 микрограммов плутония. Однако

слабая сторона исследования заключается в наличии значительных неопределенностей относительно количества и растворимости плутония, попавших в организм в момент заражения(5).

Среди семи смертных случаев, зарегистрированных в 1990 г., один произошел в результате рака костных тканей (костной саркомы).(6) Среди людей рак костей весьма редок. Естественная вероятность такого заболевания при наблюдении 26 человек в течение 40-летнего периода составляет один к ста. Таким образом, вероятность появления данного заболевания у человека, подвергнувшегося заражению плутонием (в количествах, ниже действующих норм безопасности), весьма значительна.(7)

В других странах, прежде всего, в России, также имеются данные по последствиям заражения плутонием. Они все еще находятся в стадии изучения. В настоящее время начато осуществление совместного российско-американского проекта в рамках Объединенного координационного комитета по исследованиям радиационных эффектов. Предполагается исследовать медицинские последствия для здоровья персонала предприятия "Маяк", а также жителей окружающих местностей.



Аржун Макхиджани

(1) Гамма-лучи состоят из высокоэнергетических фотонов, являющихся квантами электромагнитной энергии.

(2) Энергия, содержащаяся в единице массы вещества, измеряется в греях или радах (1 грей = 100 рада); тогда как биологическое поражение измеряется в зивертах или ремах (1 зиверт = 100 ремам).

(3) G.L.Voelz and J.N.P.Lawrence, "A 42-year medical follow-up of Manhattan Project plutonium workers." Health Physics, Vol. 37, 1991, pp. 445-485.

(4) Ibid., p. 186.

(5) Более детальный анализ этого исследования содержится в: Gofman 1981, pp. 510-520 (основаны на данных исследования по состоянию здоровья участников Манхэттенского проекта, опубликованных в Voelz 1979). J.W.Gofman, Radiation and Human Health (San Francisco: Sierra Club Books, 1991), p. 516.

(6) Три смертельных исхода произошло в результате заболевания раком легких. Однако представляется затруднительным дать оценку этой высокой доле, поскольку все трое были курильщиками.

(7) Voelz, p.189.

Использование МОХ-топлива во Франции и Бельгии

Жан-Пьер Моришо

Первый в Европе эксперимент с использованием МОХ-топлива в промышленных масштабах имел место в 1963 г. на реакторе BR3 в Моль, Бельгия и в 1974 г. в реакторе Choos A (ныне закрытом), расположенном во Франции недалеко от бельгийской границы. Эти эксперименты были результатом ранних франко-бельгийских разработок МОХ-топлива. Компании "Бельгонуклеар" и КОЖЕМА начали совместно производить МОХ-топливо на двух небольших предприятиях в Десселе, Бельгия (введен в эксплуатацию в 1973 г.) и Кадараше, Франция (введен в эксплуатацию в 1970 г.). Мощность этих предприятий составляет 35 т и 15 т, соответственно. Кроме того, в рамках совместного франко-бельгийского проекта четыре бельгийских водяных реакторов под давлением в Тнанже и Доэле и первые 28 аналогичных французских реакторов мощностью в 900 МВт, введенных в эксплуатацию между 1980 и 1984 гг., были спроектированы таким образом, чтобы использовать МОХ-топливо. Они были оборудованы четырьмя неиспользуемыми направляющими трубами, в которых могли быть размещены дополнительные контролирующие стержни в случае загрузки реакторов МОХ-топливом. По иронии, 22 реактора мощностью 1300 МВт каждый, построенные во Франции позднее, не были оборудованы для использования МОХ-топлива. Это, возможно, произошло потому, что после первой волны разработки МОХ-топлива для легководных реакторов (ЛВР), акцент был смещен на реакторы на быстрых нейтронах (реакторы-размножители), и использование МОХ-топлива в легководных реакторах стало второстепенным направлением.

Только после 1984 г., когда как стало ясным, что первоначальные надежды, связываемые с быстрыми реакторами, не оправдались, "Бельгонуклеар" и КОЖЕМА смогли переориентироваться на использование МОХ-топлива в ЛВР. В результате этих усилий в 1987 г. МОХ-топливо было впервые загружено во французский реактор в Сен-Лорен-лез-О (в районе Луары). Из 52 топливных сборок, заменяемых ежегодно, 16 содержат МОХ-топливо (это - одна треть всей активной зоны реактора). После этого 9 других реакторов были загружены МОХ-топливом до 30 процентов общей мощности (максимальная загрузка, разрешенная французскими органами ядерной безопасности). Концентрация плутония в топливе не превышала 5,3 процента. По итогам парламентских дебатов в Бельгии в декабре 1993 г. было разрешено загрузить два реактора МОХ-топливом не более чем на 20 процентов мощности, но с содержанием плутония в топливе в 7,7 процента. Вторая волна разработки МОХ-топлива для ЛВР также привела к созданию нового производственного предприятия в Маркуле, Франция ("Мелокс") мощностью в 115 т в год. В 1990 г. была выдана лицензия на строительство предприятия. Оно вступило в строй в 1995 г. До конца 1996 г. оно, по некоторым данным, произвело 96 сборок МОХ-топлива для французской энергетической компании ЭДФ.

Лишь 16 из 28 французских реакторов мощностью 900 МВт получили лицензию на использование МОХ-топлива еще в период их строительства. В настоящее время ведутся дебаты относительно того, следует ли разрешить использование этого топлива еще в четырех реакторах, расположенных в Шиноне, на реке Луаре. Принятие такого шага противоречило бы решению правительства о проведении

экспертизы "экологических и экономических последствий использования МОХ-топлива", которое должно быть завершено к июню 1997 г. Организация "Плутониевый форум" также требует, чтобы результаты общественного исследования по Шинону были опубликованы к осени 1997 г.

Безопасность и экономическая целесообразность использования МОХ-топлива в течение долгого времени подвергалась сомнению многими экспертами во Франции. В ноябре 1990 г., когда было принято решение о строительстве завода "Мелокс", известный физик-ядерщик Жан-Поль Шапира в своей статье в журнале "Ля Решерш" (1) поставил под сомнение целесообразность использования МОХ-топлива. В настоящее время в "Газетт Нуклеар" Моник Сене из Ассоциации ученых за информацию о ядерной энергетике (GSIEN) заявила, что возражения, приведенные Ж.-П. Шапира, основываются на анализе сборок МОХ-топлива, используемых ЭДФ (2).

Шапира и Сене приводят целый ряд проблем, которые создает использование МОХ-топлива по сравнению с традиционным урановым топливом АЭС: необходимость более осторожного процесса производства топливных стержней с целью защиты от возможного заражения; большой риск потери контроля в ходе эксплуатации реактора несмотря на присутствие большего количества контролирующих стержней; утечка газообразных продуктов деления; коррозия топливных стержней в процессе эксплуатации реактора. Принимая во внимание признаки устаревания, проявляющиеся на французских реакторах мощностью в 900 МВт, указанные сложности приобретают еще более острый характер.

Связанные с МОХ-топливом проблемы безопасности возникают в результате необходимости транспортировки ядерных материалов, которые могут быть использованы при производстве ядерного оружия или других вооружений, распыляющих радиоактивные вещества. Во Франции плутоний и МОХ-топливо перевозятся по дорогам в сопровождении полицейского эскорта только в светлое время суток по маршрутам, которые держатся в секрете (3). Поскольку плутоний производится в Ла Хаг (в северо-западном районе Котантен), а предприятия по производству МОХ-топлива находятся в Бельгии и в юго-восточной Франции, производство МОХ-топлива требует значительных по объему перевозок плутония.

В то время, как в Ла Хаг растут запасы плутония (к концу 1995 г. они достигли 36 т), а цена на природный уран продолжает падать, увеличиваются запасы урана, нарабатываемого в результате репроцессинга. К 1 июня 1995 г. в Ла Хаг в результате переработки отработанного топлива было извлечено 7500 т урана, что достаточно для производства 15000 топливных сборок. С учетом этих значительных запасов урана, доступного по низким ценам, МОХ-топливо не способно конкурировать с урановым топливом. Производство МОХ-топлива значительно более дорогостоящее, чем производство уранового топлива, даже если сам плутоний является бесплатным. Если же учитывать стоимость репроцессинга, становится очевидной экономическая нецелесообразность МОХ-топлива.

Производители МОХ-топлива стоят перед лицом ряда технических трудностей при его производстве и хранении, что не может еще больше не увеличивать расходы. Среди этих проблем:

- наличие сильного альфа-излучения, а также америция-241, высокоактивного источника гамма-излучения;

См. стр.7

Состояние и перспективы производства МОХ-топлива в России

Анатолий Дьяков

Работы по использованию плутония в качестве топлива для энергетических реакторов были начаты в России еще 50-х гг., однако систематические исследования стали проводиться с начала 70-х гг. При этом предпочтение было отдано использованию плутония в реакторах на быстрых нейтронах.

Первые экспериментальные МОХ-тепловыделяющие сборки (ТВС) для исследовательских реакторов на быстрых нейтронах БР-5 (БР-10) и БОР-60 были изготовлены в 70-х. Экспериментальные МОХ-ТВС также были испытаны в прототипных энергетических реакторах на быстрых нейтронах БН-350/600, которые в основном работают на высокообогащенном урановом топливе. Таблица 1 представляет данные по количеству различных видов топливных элементов, испытанных в российских реакторах. В целом было изготовлено более 2000 твэлов, которые прошли испытание в реакторах БН-350 и БН-600 со средним выгоранием в 9-11% по концентрации тяжелого металла.

Работ по использованию плутония в легко-водных реакторах до последнего времени в России не велось. Проводимые в настоящее время исследования подготавливают применение МОХ в реакторах типа ВВЭР-1000 и нацелены в основном на использование МОХ-топлива в новых установках типа ВВЭР-640 или НП-500. Для получения экспериментальных данных и с целью подтверждения расчетных программ для использования МОХ-топлива создается специальный стенд СУПР. На стенде предполагается также провести исследования по компоновке топливных элементов в уран-плутониевых ТВС реакторов типа ВВЭР. Разрабатывается программа по использованию отдельных ТВС с МОХ-топливом в одном из действующих реакторов.

В России есть две пилотные установки для производства МОХ-топлива. На комбинате Маяк созданы установки "Пакет" и "Гранат" предназначенные для работы с низкофоновым плутонием, т.е. эти установки предназначены

для изготовления МОХ-топлива для быстрых реакторов. Производительность установок небольшая, максимальный расход плутония на установке "Гранат" составляет 50 кг плутония в год (или 1 тонна МОХ-топлива) при лимитированной разовой загрузке в 300 гр. плутония. Максимальная производительность установки "Пакет" 100 кг Pu/год, или 30-36 ТВС в год, что соответствует 1 тонне МОХ-топлива с 20% содержанием плутония.

В установке "Пакет", запущенной в 1980 году, используется принцип механического смешения порошков раздельно полученных диоксидов урана и плутония. В последующих операциях в образованную смесь добавляется связующая компонента и смесь снова перемешивается, гранулируется, производится прессование топливных таблеток, а затем таблетки сушатся и спекаются. Затем осуществляется контроль таблеток, подготовка оболочек, набор таблеток в столб и загрузка столба в оболочки, сварка и контроль твэла. После дезактивации твэлов они отправляются на завод в Электростали, где осуществляется производство ТВС. Российские специалисты полагают, что данная установка может быть использована также и для производства экспериментальных твэлов из оружейного плутония для исследовательских реакторов на тепловых нейтронах.

Установка "Гранат", запущенная в производство в начале 1988 года, предназначена для производства гранулированного U/PuO₂ топлива для быстрых реакторов с плутонием из переработанных ТВС быстрых реакторов или с оружейным плутонием. Концентрация плутония в топливе может достигать 25%. Установка состоит из 14 перчаточных боксов. Технология производства МОХ-топлива основана на методе совместного осаждения из азотнокислых растворов урана и плутония. Технологический процесс включает следующие стадии: подготовка исходных растворов, осаждение суспензии добавлением аммиака, получение гранулята в суспензии путем добавления органических вспомогательных веществ, фильтрация суспензии,

Таблица 1. История производства МОХ-топлива в России

Процесс производства	Опытное производство	Реактор	Количество сборок (масса Pu)
Комиллинг (таблетки)	Димитровград (1970)	БОР-60 (1973)	(несколько десятков кг)
Пирометаллургия	Димитровград (1970)	БОР-60 (1975)	(несколько десятков кг)
Карбонатное осаждение (таблетки)	ПО "Маяк" (1980) Димитровград (1970)	БОР-60	(10 кг)
Плазменная химия (таблетки)	Москва (1980)	БОР-60 (1981)	2 топливные сборки (ок. 1 кг)
Комиллинг (таблетки)	ПО "Маяк"	БН-350 (1980)	10 топливных сборок (ок. 80 кг)
Осаждение аммонием (таблетки)	ПО "Маяк"	БН-350 (1992)	1 топливная сборка (ок. 10 кг)
Осаждение аммонием (таблетки)	ПО "Маяк"	БН-600	8 топливных сборок (ок. 80 кг)
Комиллинг (таблетки)	ПО "Маяк"	БН-600 (1990)	12 топливных сборок (ок. 100 кг)

сушку осадка и прокаливание оксидно смешанного гранулята. Полученный гранулят обладает высокой сыпучестью и при обращении с ним он почти не образует пыли. Этот гранулят поставляется затем на установку "Пакет" для производства из него таблеток и твэлов.

Установка "Комплекс 300" по проекту предназначена для изготовления твэлов для реакторов на быстрых нейтронах. Производительность установки 30 т МОХ/год для реакторов на быстрых нейтронах. Строительные работы были начаты в 1984 г. и прекращены в 1989 г. из-за задержки в строительстве реакторов БН-800. Установка расположена в четырехэтажном здании размером 300x54x20 м и общей площадью 64000 м². На втором этаже смонтирована линия камер для изготовления твэлов из смешанного оксидного гранулята. Имеется также полный комплект оборудования камер, но оно пока не установлено. Технологический процесс заложенный в проект соответствует технологии производства МОХ-топлива на установке "Пакет". Однако проектом предусматривается также работа с высоко фоновым плутонием, с этой целью предусматривается использование хорошо экранированных камер с манипуляторами.

На сегодняшний день, вследствие прекращения работ, имеются проблемы как по состоянию здания так и смонтированного оборудования. В целом в настоящее время российские эксперты скептически относятся к продолжению работ по завершению строительства данной установки, так как уровень технологических решений заложенных в ее проект во многом ниже в сравнении с концепциями проектирования подобных установок по производству МОХ-топлива на Западе.

Использование смонтированного оборудования "Комплекса 300" для производства МОХ-топлива из оружейного плутония для тепловых реакторов не представляется возможным, так оно рассчитано на производство топливных таблеток для быстрых реакторов, имеющих размеры отличные от размеров таблеток для тепловых реакторов. Дополнительно, смонтированное оборудование не рассчитано на работу с оружейным плутонием.

В настоящее время российская сторона ведет активное сотрудничество с Германией и Францией, направленное на создание пилотной установки по производству МОХ-топлива на основе использования имеющегося западного опыта и технологии. В настоящее время изучается два варианта. Первый из них - объект «Томокс 1300», создаваемый в рамках российско-французской программы «AIDA-МОХ». Он позволит перерабатывать в МОХ-топливо до 1300 кг оружейного плутония ежегодно. Предполагаемая производительность установки 30 т МОХ-топлива в год. В рамках совместного российско-германского исследования предлагается создание пилотного предприятия, способного перерабатывать до 1 т оружейного плутония в год, что соответствует 10 т топлива ежегодно для легководных реакторов с максимальным содержанием плутония в 15 %. Эти предварительные исследования были завершены, и в настоящее время стороны ведут переговоры о финансировании и месте строительства предприятия. Общая стоимость оценивается в 130 млн. долл. Необходимы дальнейшие исследования для того, чтобы определить, сможет ли указанное пилотное предприятие также производить МОХ-топливо для реакторов на быстрых нейтронах с концентрацией плутония до 45 %.

Анатолий Дьяков - профессор физики Московского физико-технического института. В 1990 г. он, совместно с профессором Фрэнком фон Хиппелем, основал в МФТИ Центр по разоружению, энергетике и окружающей среде. В настоящее время проф. Дьяков занимается проблемами российской политики в области утилизации оружейного плутония, транспарентности и необратимости процесса сокращения ядерных вооружений.

Использование МОХ-топлива во Франции и Бельгии

со стр. 5

- до использования при производстве МОХ-топлива плутоний может храниться ограниченный период в 2-3 года;

- в целях увеличения времени, в течение которого топливные стержни могут находиться в реакторе (чего явно добивается ЭДФ), необходимо большее обогащение топлива: 4,2 процента для уранового топлива и 8 процентов для МОХ-топлива. Разрешенная в настоящее время во Франции предельная концентрация плутония в МОХ-топливе составляет лишь 5,3 процента. Это эквивалентно производству 30000 мегаватт-дней энергии на 1 т тяжелого металла, тогда как при использовании уранового топлива производится 47000 мегаватт-дней. Поэтому ЭДФ добивается разрешения (пока безуспешно) на увеличения концентрации плутония до 7 процентов;

- в ходе экспериментов по репроцессингу МОХ-топлива был выделен плутоний, в меньшей степени поддающийся расщеплению (и, поэтому, способный производить меньше энергии); образовалась также, по сравнению с переработанным урановым топливом, большая концентрация трансураниевых элементов (и, следовательно, большая радиоактивность). В августе 1996 г. ЭДФ заявила о своем намерении складировать отработанное МОХ-топливо. Таким образом, пока не выработана политика относительно того, что делать с отработанным МОХ-топливом.

Можно сделать вывод, что МОХ-топливо, рассматриваемое некоторыми в качестве пути по уменьшению запасов плутония, способно принести много сложностей. После краха идеи с быстрыми реакторами, оно остается последним шансом для сторонников плутония в их борьбе с адвокатами уранового топлива внутри КОЖЕМА. Однако если экономические недостатки МОХ-топлива прибавить к уже существующим катастрофическим экологическим последствиям функционирования плутониевой промышленности, плутоний во Франции, возможно, будет рассматриваться в качестве отходов. Таким образом, имеется некоторая надежда, что будущим поколениям придется обращаться с меньшим количеством плутония, чем это может потребоваться в результате реализации контрактов КОЖЕМА по репроцессингу.



Жан-Пьер Моришо - инженер в области физико-химических технологий (в отставке), начал профессиональную карьеру в 1957 г. в исследовательском центре Саклей. В 1992-94 гг. он был президентом коалиции, выступавшей против ввода в эксплуатацию завода "Мелокс". В настоящее время он является координатором "Плутониевого форума" - коалиции организаций, действующих во Франции, Бельгии и Швейцарии.

(1) J.P. Schapira, "Une nouvelle strategie pour le plutonium," La recherche, No. 226, Nov. 1990.

(2) M. Sene, " Dossier MOX," La Gazette Nucleaire, No. 155/156, jan. 1997.

(3) M.Pavageau, J.Hazeman, M.Schneider, Les transports de l'industrie du plutonium en France, WISE-Paris, 1995.

(4) Plutonium: Deadly Gold of the Nuclear Age, IPPNW/IEER, 1992, French edition in Medecine et Guerre Nucleaire, Vol. 8, No. 3, 1993.



КАК ПЛУТОНИЙ ИЗМЕНЯЕТСЯ СО ВРЕМЕНЕМ

Обычный образец плутония представляет собой не чистый плутоний-239, а состоит из нескольких различных изотопов. Всего имеется 15 изотопов с числом массы от 232 до 246. Все они радиоактивны - т.е. их ядра распадаются, что приводит к образованию новых элементов. Все продукты распада плутония также радиоактивны. Таким образом, каждый плутониевый изотоп образует цепь распада. Упрощенная схема распада плутония-239 приведена в Таблице 3.

Как правило, в ядерном реакторе образуются изотопы плутония с числами массы от 238 до 242. Количество изотопов плутония помимо плутония-239, образующихся в военных или энергетических реакторах, зависит от природы используемого топлива, конструкции самого реактора и длительности времени облучения.

В Таблице 1 показаны два наиболее часто встречающихся варианта состава изотопов плутония. Первый - оружейный плутоний, содержащий не менее 93 процентов плутония-239. Другой - реакторный плутоний: образующийся в ядерных легководных реакторах. Необходимо отметить, что реакторный плутоний ЛВР обычно содержит более 20 процентов плутония-240 и более 10 процентов плутония-242. Плутония, образующийся в реакторах другого типа, например, графитовых реакторах (некоторые из которых функционируют в Великобритании, России и других странах) или тяжеловодных реакторах, используемых в Канаде и ряде других стран, обладает изотопным составом, находящимся в промежутке между оружейным и реакторным плутонием, показанным в таблице. В Таблице 1 также приведены периоды полураспада и некоторые характеристики основных изотопов плутония. Полураспадом называется период времени, в течение которого распадается половина атомов каждого отдельно взятого образца. Активность (тесно увязанная с периодом полураспада) показывает уровень радиоактивности материала.

Как оружейный, так и реакторный плутоний содержит

некоторое количество плутония-241. Плутоний-241 распадается на америций-241 путем излучения бета-частицы.

Рубрика "наука для критических масс" будет регулярно появляться в бюллетене "Энергетика и безопасность". Она позволит читателям приобрести некоторый технический опыт, необходимый для лучшего понимания политических вопросов, обсуждаемых в каждом номере. Кроме того, это даст возможность потренироваться в понимании технических проблем. Обратите внимание, что в таблице 2 имеется несколько пропусков. Заполните их, основываясь на информации, содержащейся в статье. Ответы появятся в следующем номере.

Поскольку америций-241 обладает значительно большим периодом полураспада (432 года), чем плутоний-241 (14,4 года), его запасы возрастают по мере распада плутония-241. Гамма-радиация, образующаяся в результате распада америция-241, также значительно сильнее, чем у плутония-241, следовательно, со временем она также нарастает. Таким образом, концентрация плутония-241 и период его хранения прямо коррелируют с уровнем гамма-радиации, образующейся в результате увеличения содержания америция-241.

Поскольку реакторный плутоний содержит большое количество плутония-241, чем дольше он хранится, тем выше доза радиации, которую получает работающий с ним персонал. Когда для производства МОХ-топлива используется плутоний, выделенный из отработанного топлива легководных реакторов, более старые партии плутония вызывают более высокие дозы облучения персонала предприятий по производству МОХ-топлива. Старые предприятия по производству МОХ-топлива сконструированы таким образом, что они могут использовать реак-

Таблица 1.

Изотопы плутония	Период полураспада, лет	Активность, кюри/г	Количество оружейного плутония, %	Количество реакторного плутония, % ¹
плутоний-238	87,74	17,3	-	1,3
плутоний-239	24110	0,063	93,0	56,6
плутоний-240	6537	0,23	6,5	23,2
плутоний-241	14,4	104	0,5	13,9
плутоний-242	379000	0.004	-	4,9

(1) Типично для водяных под давлением реакторов, наиболее широко распространенного типа действующих реакторов

Таблица 2.

Изотоп	Первоначальный состав	после 2 лет	после 5 лет	после 14,4 лет	после 28,8 лет
плутоний-241	1	0,91	?	0,5	?
америций-241	0	0,09	?	0,5	?

торный плутоний, который хранился после репроцессинга не более двух с половиной лет (это позволяет избежать чрезмерных концентраций изотопов америция, содержащихся в отработанном топливе). Новые МОХ-предприятия способны работать с реакторным плутонием со сроком хранения около трех лет. Поэтому такие страны как, например, Япония и Россия, не использующие реакторный плутоний, но выделяющие его и хранящие в течение многих лет, впустую тратят значительные средства, поскольку для избавления от накапливающегося америция-241 им, возможно, придется прибегнуть к повторной переработке. Таким образом, даже для сторонников репроцессинга было бы целесообразно по финансовым соображениям отложить переработку до того времени, когда плутоний будет в действительности использован для производства топлива.

Таблица 2 показывает, каким образом америций-241 накапливается в 200 г реакторного плутония, содержащего 1 г плутония-241 во время переработки. В таблице имеется пустая колонка для того, чтобы читатель мог потренировать свое техническое воображение и самостоятельно ее заполнить. Следует иметь в виду, что период полураспада плутония-241 составляет 14,4 года, и в течение каждого периода полураспада половина плутония-241 преобразуется в америций-241. Для простоты мы проигнорировали распад самого америция. Кроме того, 28,8 лет слишком незначительный срок по сравнению с периодом полураспада америция в 432 года.



(1) Типично для водяных под давлением реакторов, наиболее распространенного типа действующих реакторов.

РЕАКТОРНОЕ ТОПЛИВО со стр. 1

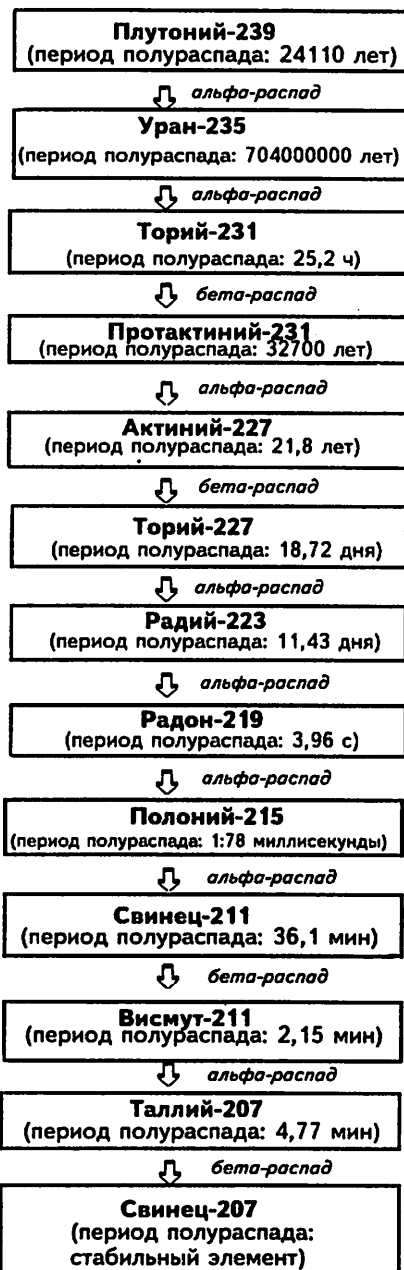
Совместное исследование содержит целый ряд вариантов и отражает сферы согласия и остающихся противоречий между правительствами обеих стран. Оба правительства согласны с тем, что крайне важно перевести избыточный плутоний в форму, временно непригодную для производства ядерного оружия. В исследовании говорится, что США и Россия совместно предлагают четыре варианта утилизации плутония; два варианта предлагается Россией самостоятельно. Среди четырех совместных вариантов следующие:

1. Использование плутония в качестве МОХ-топлива в легководных и тяжеловодных реакторах.
2. Использование плутония в качестве МОХ-топлива в быстрых реакторах.
3. Имобилизация в стекле или керамике.
4. Прямое захоронение в геологических формациях.

Среди вариантов, представленных Россией в одностороннем порядке, предусматривается: (1) сжигание в высокотемпературных газовых реакторах и (2) использование в системах на базе ускорителей.

Первые два варианта предполагают использование плутония в качестве реакторного топлива. Для производства такого топлива плутоний следует преобразовать в оксидную химическую форму, смешать с оксидом урана и на основе данной смеси произвести керамические топливные таблетки (для краткости именуемые МОХ-топливом). В МОХ-топливе используется уран-238, не являющийся расщепляющимся. МОХ-топливо компонуется в топливные стержни и загружается в реакторы в качестве частичной, либо полной замены уранового топлива, которое используется в настоящее время и обогащено изотопом урана-235.

Таблица 3
Основные элементы
цепи распада
плутония-239



Данные по периодам полураспада
взяты из CRC Handbook of
Chemistry and Physics, 1988.

РЕАКТОРНОЕ ТОПЛИВО

Со стр. 9

Среди рассматривавшихся вариантов, МОХ-топливо (сжигаемое в легководных и быстрых реакторах) и иммобилизация (смешивание плутония со стеклом или керамикой) являются двумя основными технологиями, которые могут быть реализованы в ближайшей перспективе.

В исследовании содержится вывод, что в качестве наиболее перспективных технологий следует рассматривать те, которые предполагают использовать "известные или демонстрационные типы реакторов и технологии производства МОХ-топлива". Иммобилизация рассматривается в качестве второго наиболее перспективного варианта. Данный вывод основывается, прежде всего, на европейском опыте сжигания МОХ-топлива в ЛВР, а также на российском опыте производства МОХ-топлива для быстрых реакторов. 19 реакторов в Германии, Франции и Бельгии используют МОХ-топливо, и Франция предполагает в ближайшие годы увеличить количество таких реакторов. Однако некоторые различия между гражданским плутонием, используемым в Европе, и военным плутонием делают указанный вывод не столь очевидным. Более того, десятилетний европейский опыт остекловывания высокорadioактивных отходов (РАО) не был принят во внимание при оценках перспективности различных вариантов.

В связи с различиями в позициях обоих правительств, исследование утверждает, что "Соединенные Штаты и Россия не нуждаются в использовании одинаковых технологий утилизации плутония. Учитывая серьезные различия в экономической ситуации, ядерной инфраструктуре и политике обеих стран в отношении топливного цикла, вероятнее всего, наилучшим подходом был бы выбор различных вариантов каждой из сторон" (2). Более того, каждая из сторон вправе использовать несколько вариантов.

Производство МОХ-топлива (3)

МОХ-топливо производится из оружейного плутония в промышленных масштабах. Действующее предприятие используют диоксид плутония, который они получают с объектов по переработке отработанного реакторного топлива (известного также как реакторный плутоний). Здесь имеется два существенных различия. Гражданские предприятия по репроцессингу в настоящее время основаны на жидких технологиях (т.е. на кислотах и других жидких растворителях), посредством которых плутоний и уран в отработанном топливе отделяется от продуктов деления и друг от друга. Конечным продуктом является порошковый диоксид плутония, который может быть непосредственно использован в производстве МОХ-топлива. Напротив, военный плутоний существует в форме "питов", состоящих из металлического плутония с небольшими добавлениями других материалов. Более того, в Соединенных Штатах и России (а, возможно, и в других ядерных государствах) оружейный плутоний содержит примесь галлия в количестве до одного процента. Присутствие галлия значительно затрудняет процесс производства МОХ-топлива и, поэтому, его необходимо полностью извлечь из оружейного плутония до начала производства топлива. Таким образом, перед использованием оружейный металлический плутоний подлежит очистке и преобразованию в оксидную форму (необязательно в указанном порядке). Это означает, что производство МОХ-топлива из оружейного плутония включает дополнительные ста-

дии и процессы, которые не требуются при переработке плутония из отработанного реакторного топлива (4).

В настоящее время процесс переработки оружейного плутония в форму, пригодную для производства МОХ-топлива, также основан на жидких технологиях, сходных с теми, что применяются при репроцессинге (более подробную информацию о репроцессинге см. в выпуске 2 "Энергетики и безопасности"). Сухие технологии по производству диоксида плутония и извлечению галлия пока не вышли из лабораторной стадии. Потребуется от четырех до пяти лет, чтобы внедрить эти технологии в промышленность и использовать их для утилизации плутония посредством МОХ-топлива. США заявили о своем намерении использовать сухую технологию ARIES с целью очистки плутониевых питов от галлия, тогда как Россия изучает возможность применения жидких и соляных технологий (она сотрудничает в данной области с Францией).

В 60-е и 70-е гг. в Соединенных Штатах МОХ-топливо использовалось при проведении испытаний на ЛВР. В США оно производится на небольших объектах в специальных камерах. Если Соединенные Штаты примут решение о выборе варианта с МОХ-топливом, им придется построить новое предприятие по производству этого топлива или завершить строительство недостроенного предприятия по испытаниям ядерных материалов (Fuel Materials Examination Facility) в Хэнфорде (штат Вашингтон). Оно строилось в 70-е гг. для производства топлива для быстрых реакторов. Помимо Хэнфорда, аналогичное предприятие могло бы быть построено в Пантексе (штат Техас), Национальной инженерной лаборатории в штате Айдахо, или в Саванна-Ривер-Сайт (штат Южная Каролина).

Уже в течение долгого времени Россия разрабатывает МОХ-топливо для реакторов-размножителей, но Минатом до последнего времени не рассматривал возможность сжигания МОХ-топлива в ЛВР - до тех пор, пока американская программа по утилизации плутония не создала стимулы в пользу изучения этого варианта. Если будет принято решение об избрании варианта с использованием реакторов-размножителей, производство МОХ-топлива могло бы начаться на "Маяке" (недалеко от Челябинска), где расположено недостроенное предприятие "Комплекс-300". Если же выбор будет сделан в пользу водяных реакторов, объекты по преобразованию плутония и производству МОХ-топлива могли бы быть построены на заводе РТ-2 в Железногорске (Красноярск-26). (Более подробную информацию о производстве МОХ-топлива в России см. с. 6).

Совместное исследование приводит ряд дополнительных мер в области безопасности, необходимых при производстве МОХ-топлива, но не требующихся при изготовлении уранового топлива. По сравнению с урановым топливом, МОХ-топливо имеет более мощную гамма-радиацию и нейтронное излучение. Это требует создания отдельных объектов для хранения контейнеров со свежим МОХ-топливом, а также, возможно, специального транспортного оборудования для перевозки свежего топлива. Пыль, образующаяся при производстве МОХ-топлива, создает риск для безопасности персонала из-за опасностей, связанных с попаданием плутония в дыхательные пути (о медицинских проблемах плутония см. сс. 3-4).

Рассматриваемые типы реакторов

Сроки переработки в реакторах плутония в облученное топливо, непригодное для изготовления ядерного оружия, зависят от нескольких факторов:

- количество, размеры и тип используемых реакторов;

- средняя мощность реактора;
- доля плутония в МОХ-топливе;
- процент активной реакторной зоны, загружаемой МОХ-топливом.

Необходимо отметить, что с точки зрения перевода избыточного плутония в форму, непригодную для изготовления ядерного оружия, все варианты использования различных типов реакторов потребуют гораздо больше времени на их реализацию, чем некоторые варианты остекловывания. Кроме того, первоначальные оценки этих сроков, весьма вероятно, занижены. Варианты, предусматривающие строительство новых реакторов, скорее всего, потребуют гораздо больше времени, чем это первоначально предполагалось.

В целях утилизации избыточного плутония Россия рассматривает возможность использовать МОХ-топливо (смесь оксидов плутония и урана) как в быстрых реакторах (также известных как быстрые реакторы-размножители), так и в ЛВР. В декабре 1996 г. США объявили о своем намерении следовать "двойной" стратегии: изучать возможность использования МОХ-топлива в ЛВР, при одновременно рассмотрении варианта иммобилизации плутония, полностью исключаящего его использование в качестве топлива (5). Хотя в Совместном исследовании Соединенные Штаты и упомянули возможность использования МОХ-топлива в реакторах-размножителях, они вряд ли выберут этот вариант. Следующий раздел рассматривает основные варианты использования ЛВР, а также возможные российские планы по сжиганию МОХ-топлива в быстрых реакторах.

Действующие реакторы

США располагают значительным количеством действующих реакторов, которые потенциально могли бы загружаться МОХ-топливом. В различные периоды 18 энергетических компаний довели до Министерства энергетики США свой интерес использовать 38 реакторов для сжигания плутония в виде МОХ-топлива. Не все из них сохранили интерес до настоящего времени, однако ситуация быстро меняется. Сейчас идет процесс формальной подготовки заявок энергетическими компаниями на выдачу лицензий и их рассмотрение Комиссией по ядерному регулированию.

Россия располагает более ограниченным количеством вариантов по утилизации плутония в действующих реакторах. По соображениям безопасности, из возможного перечня были исключены графитовые реакторы типа РБМК и небольшие легководные реакторы типа ВВЭР-400. Лишь более мощные ЛВР типа ВВЭР-1000 могут использовать МОХ-топливо, но только при условии загрузки им до одной трети активной зоны (иными словами, две трети топливных стержней данных реакторов должны содержать обычное урановое топливо, и одна треть – МОХ). Однако в докладе Национальной Академии наук США 1995 г. отмечается, что даже реакторы типа ВВЭР-1000 "в настоящее время не отвечают международным стандартам безопасности" (6), и, поэтому, их следует модернизировать перед тем, как использовать для утилизации плутония.

Дополнительная сложность связана с тем, что семь действующих российских реакторов типа ВВЭР-1000 не в состоянии потребить 50 т избыточного плутония в период от 20 до 40 лет, как это предлагается в Совместном исследовании. Для придания этому варианту большей жизнеспособности необходимо достроить три реактора на Калининской и Ростовской АЭС (см. таблицу ниже). Другое предложение состоит в том, чтобы использовать МОХ-топливо, помимо российских, еще и на 11 украинских реакторах. Другая возможная мера по сокращению периода утилизации заключается в удлинении сроков эксплуатации реакторов сверх 30 лет, как это предполагается в на-

стоящее время, в увеличении доли активной зоны, подлежащей загрузке МОХ-топливом, сверх одной трети, а также в повышении концентрации плутония в МОХ-топливе сверх нынешних 3,9 процента. Но все это сопряжено с дополнительными угрозами безопасности, пока в надлежащей степени не изученными.

Даже при предполагаемой загрузке МОХ-топливом одной трети активной зоны, вероятно, потребуется дополнительная модификация реакторов типа ВВЭР-1000 с тем, чтобы использовать их для утилизации плутония. В Совместном исследовании приводится несколько возможных шагов в данном направлении, большая часть из которых связана с поддержанием контроля над реактором (см. ниже рассмотрение проблем безопасности). Согласно предлагаемым в исследовании срокам утилизации, использование МОХ-топлива в первом реакторе ВВЭР-1000 должно начаться в 2001 г., а утилизация плутония завершиться в 2028 г. (для этого следует сжигать МОХ-топливо в 10 реакторах при условии загрузки им 1/3 активной зоны и при концентрации плутония в МОХ-топливе на уровне 3,9 процента).

"Эволюционные реакторы"

США и Россия рассматривают возможность использования новых типов реакторов, до 100 процентов активной зоны которых может загружаться МОХ-топливом в результате внедрения соответствующей технологии по более надежному контролю за безопасностью реактора. В Соединенных Штатах изучается перспектива использования трех существующих реакторов "Систем-80", принадлежащих находящейся в Пало-Верде "Аризона паблик сервисез компани". Россия также рассматривает планы строительства до пяти реакторов типа ВВЭР-640 (НП-500), система безопасности которых была бы предоставлена "Сименсом". Но даже если эти реакторы и смогут на 100 процентов загружаться МОХ-топливом, концентрация плутония в самом топливе останется относительно низкой, что потребует производства большего количества МОХ-топлива. Таким образом, преимущества данного подхода с точки зрения ускорения утилизации относительно невелики. В Совместном исследовании утверждается, что, "предположительно", реакторы типа ВВЭР-640 могли бы полностью загружаться МОХ-топливом с концентрацией плутония в топливе в размере 3,7 процента (7).

Реакторы КАНДУ

Третий вариант, совместно рассматриваемый Россией и США, заключается в использовании канадских тяжеловодных реакторов типа КАНДУ (они именуется КАНДУ (CANDU), поскольку используют природный уран в качестве топлива и тяжелую воду как замедлитель и охладитель). В отличие от ЛВР, которые вынуждены время от времени останавливаться для перезагрузки, эти реакторы функционируют постоянно.

Реакторы КАНДУ могли бы полностью работать на МОХ-топливе. Согласно данным компании "Атомик энерджи оф Канада, лимитед", они могли бы без проведения модификации полностью загружаться МОХ-топливом с концентрацией плутония от 0,5 до 3 процентов (8). Однако это потребовало бы выдачи новой лицензии, поскольку действующие лицензии не предусматривают работу этих реакторов на МОХ-топливе. Реакторы типа КАНДУ могут полностью использовать МОХ-топливо, поскольку их конструкция позволяет, в случае необходимости, разместить дополнительные контролируемые стержни.

См. стр. 12

Представляется, что, по соображениям контроля за ядерной реакцией, реакторы типа КАНДУ располагают значительными преимуществами в плане сжигания МОХ-топлива. По сравнению с топливом на базе природного урана, использование МОХ-топлива увеличит выход энергии на единицу сжигаемого топлива. При более высокой эффективности производства энергии также уменьшатся и объемы высокоактивных отходов деятельности этих реакторов.

Но вариант с реакторами КАНДУ связан и со многими сложностями, прежде всего, с необходимостью международной транспортировки МОХ-топлива, из которого достаточно несложно выделить уран и оружейный плутоний. Поскольку КАНДУ используют небольшие топливные стержни, которые можно удалить из реактора в процессе его функционирования (т.к. реактор загружается топливом на постоянной основе без остановки его эксплуатации), потребуются более серьезные меры по предотвращению хищений и несанкционированного использования плутония. Использование этих реакторов также может потребовать производства большего количества МОХ-топлива по сравнению с ЛВР, поскольку топливо будет содержать от 1,5 до 2,7 процентов плутония (8), а не от 2,5 до 6,8 процентов, как в случае с ЛВР (в зависимости от типа реактора).

Реакторы на быстрых нейтронах

Соединенные Штаты прекратили реализацию программы по созданию быстрых реакторов (также именуемых реакторами-размножителями) из-за ее высокой стоимости и опасений, связанных с ядерным распространением. Однако Минатом, рассматривающий плутоний чуть ли не как энергетическое сокровище, продолжал активные исследования в данной области. В настоящее время в распоряжении Минатома находится один реактор на быстрых нейтронах БН-600, расположенный в Белоярске. Он работает на высокообогащенном урановом топливе. Планировалось создание четырех дополнительных реакторов на быстрых нейтронах – трех на “Маяке” и одного – в Белоярске. В 80-е гг. началось строительство двух из них (по одному на каждом объекте), но в начале 90-х гг. оно было прекращено из-за недостатка средств. В настоящее время Минатом заявляет о своем намерении возобновить строительство. Данные проекты находятся на стадии лицензирования, но финансирование остается по-прежнему весьма неопределенным.

Утилизация плутония в реакторах на быстрых нейтронах может производиться путем удаления “размножающих” покрытий в активной зоне, что превращает реактор из производителя плутония в его потребитель (необходимо принять во внимание, что это вовсе не означает, что потребляется весь плутоний: в отработанном топливе его содержится лишь немного меньше, чем в свежем). С точки зрения ядерного распространения одна из проблем, связанных с реакторами-размножителями, состоит в том, что урановое покрытие может быть установлено вновь, что позволит использовать эти реакторы для производства большего количества плутония, включая оружейный.

Концентрация плутония в МОХ-топливе для быстрых реакторов существенно выше, чем в топливе для ЛВР. В целях утилизации плутония Минатом предлагает построить один реактор БН-800 на “Маяке”. Реакторы типа БН-800 могут полностью работать на МОХ-топливе. Согласно Совместному исследованию, они способны потреблять 1,6 т плутония ежегодно, что позволит завершить утилизацию 50 т плутония в течение 30 лет. БН-800 сконструированы таким образом, что способны использовать МОХ-

топливо, содержащее реакторный плутоний, но, основываясь на оценках двадцатилетней давности, в исследовании утверждается, что потребление оружейного плутония не потребует значительных изменений в характеристиках реактора. Учитывая серьезность данной проблемы, необходимо провести новые и независимые исследования по этому вопросу.

Кроме того, Минатом планирует завершить строительство второго реактора БН-800 в Белоярске, который мог бы использовать МОХ-топливо, содержащее примерно 30 т гражданского плутония, уже выделенного на предприятии РТ-1 на “Маяке”. Этот второй реактор также может служить в целях утилизации плутония. Согласно Совместному исследованию, завершение строительства первого реактора БН-800 ожидается к 2005 г., в зависимости от финансирования, которое пока не гарантировано.

В Совместном исследовании говорится о том, что действующий БН-600 мог бы использоваться как демонстрационный объект по сжиганию МОХ-топлива уже к 2000 г., при условии, что в ближайшее время будут найдены средства для создания предприятия по переработке плутония и производству топлива. Однако БН-600 может быть лишь частично загружен МОХ-топливом, и в исследовании упоминается необходимость проведения дополнительных исследований в области безопасности использования МОХ-топлива в реакторе, не имеющем “размножающего” покрытия. Этот реактор способен потреблять порядка 0,5 т топлива в год, или около 5 т за весь период его эксплуатации, которая должна завершиться к 2010 г.

Утилизация плутония в реакторах-размножителях создает ряд дополнительных угроз с точки зрения безопасности и ядерного распространения. Из-за более высокой концентрации плутония в свежем топливе неизбежно и его более высокое содержание в отработанном топливе: согласно исследованию, отработанное топливо реакторов-размножителей будет содержать примерно 20 процентов плутония. Несмотря на то, что Минатом заявляет о том, что в сфере безопасности и экологии БН-600 имеет “отличные” показатели, в исследовании упоминается о примерно 30 случаях утечек соды в период первых 14 лет его эксплуатации. Кроме того, международный опыт эксплуатации таких реакторов также далек от позитивного. Их эксплуатация сопровождалась возникновением проблем технического характера, а также в сфере безопасности, что приводило к временной или полной их остановке в США, Японии и Франции.

Проблемы безопасности и лицензирования ЛВР при сжигании в них МОХ-топлива

Значительное большинство ЛВР не были предназначены для использования плутония в качестве топлива. Несмотря на то, что плутоний-239 и уран-235 являются расплывающимися материалами, способными производить одинаковое количество энергии на единицу веса, они различаются с точки зрения их влияния на безопасность реакторов при использовании этих материалов в качестве реакторного топлива. Основным источником опасений связан с контролем над ядерной реакцией в реакторе. Цепная реакция в реакторе должна поддерживаться с исключительной точностью. Этот контроль достигается путем использования контролируемых стержней, изготовленных из бора и (в водяных реакторах под давлением) путем добавления бора в воду. Контролирующие стержни позволяют увеличивать или уменьшать уровни мощности реактора и дают возможность его плановой остановки. Они предотвращают появление неуправляемой ядерной реакции, которая может привести к катастрофе.

Необходимо отметить, что хотя все гражданские ЛВР вырабатывают некоторое количество плутония из содержащегося в их топливе урана-238, общее количество плутония не превышает примерно одного процента. Его кон-

центрация может быть еще ниже, если в качестве топлива используется низкообогащенный уран. При сжигании МОХ-топлива постоянная концентрация плутония в реакторе будет значительно выше. В этом и заключается основная проблема контроля над деятельностью реактора (10).

Переход на другое топливо может подорвать способность контролируемых стержней обеспечивать необходимый контроль над реакцией. Это может потребовать модификация реактора перед его переводом на сжигание МОХ-топлива. Таким образом, смена топлива также означает и выдачу новой лицензии на эксплуатацию реактора.

Проблемы безопасности возникают в связи со следующими различиями при использовании МОХ- и уранового топлива:

- Скорость расщепления плутония увеличивается при росте температуры. Это затрудняет контроль над реакцией и требует внедрения компенсирующих мер. Данная проблема приобретает более серьезный характер, если МОХ-топливо изготовлено на базе оружейного урана, а не из реакторного плутония.

- Контроль над реакцией зависит от небольшого количества нейтронов (именуемых запаздывающими нейтронами), испускаемых секунды или минуты после расщепления урана или плутония. При делении урана-235 образуется примерно 0,65 процента запаздывающих нейтронов, тогда как при делении плутония – лишь 0,2 процента. Это означает, что при использовании плутониевого топлива необходимы дополнительные меры контроля, при условии, если существующие уровни и скорости контроля окажутся недостаточными.

- Нейтроны в реакторах, действующих на плутониевом топливе, обладают более высокой энергией, чем нейтроны в реакторах, работающих на уране. Это увеличивает ущерб компонентам реактора, причиняемый радиацией.

- Плутоний захватывает нейтроны с большей вероятностью, чем уран. В результате, требуется большее количество поглотителей нейтронов с целью обеспечения контроля над реактором.

- Большая концентрация плутония в топливе увеличивает выход плутония и других трансурановых элементов в окружающую среду в случае аварии.

- Облученное МОХ-топливо обладает более высокой температурой, чем урановое топливо, поскольку при сжигании МОХ-топлива образуется большее количество трансурановых элементов.

Проблемы контроля реактора как при нормальной эксплуатации, так и при авариях, имеют критически важное значение. Большинство независимых исследований предлагает загружать ЛВР МОХ-топливом не более чем на треть, при условии, что они специально не сконструированы для использования этого топлива. Однако сходные проблемы при эксплуатации возникают и при сжигании МОХ-топлива совместно с урановым топливом. Различные характеристики этих видов топлива с точки зрения контроля, радиации и тепловой энергии делают эксплуатацию и контроль более сложными. Некоторые владельцы реакторов утверждают, что они способны полностью перейти на МОХ-топливо без внесения физических изменений в реактор или контролируемые стержни. Последствия таких утверждений с точки зрения безопасности должны подлежать независимой экспертизе.

Подробности процедуры лицензирования в Соединенных Штатах хорошо известны. Это комплексный, открытый для общественности и дорогостоящий процесс, который, как и предлагается в Совместном исследовании, наиболее вероятно, будет достаточно содержательным. Однако роль Госатомнадзора, российского ведомства по регулированию атомной энергетики, до сих пор не ясна; неясно также, располагает ли оно достаточными ресурсами для проведения полноценного процесса лицензирования. В Совместном исследовании утверждается, что Госатомнадзор пока не начинал рассматривать заявки на лицензирование использования МОХ-топлива, и участие общественности в этом процессе остается проблематичным. В исследовании не содержится подробностей относительно российского процесса выдачи лицензий, там лишь говорится, что "все объекты должны быть лицензированы соответствующими национальными органами".

Отработанное МОХ-топливо

При использовании в реакторах МОХ-топлива плутоний не только сжигается, но и производится. Отработанное МОХ-топливо содержит больше плутония и имеет более высокую температуру по сравнению с обычным отработанным топливом (т.е. образующимся после сжигания в ЛВР НОУ-топлива). После извлечения из реактора обычное отработанное топливо ЛВР, как правило, содержит около 1 процента плутония. Количество остаточного плутония в отработанном МОХ-топливе зависит от первоначальной концентрации плутония в свежем топливе, степени сжигания топлива и конфигурации, в которой оно используется.

По оценке Национальной Академии наук (НАН), у работающих на МОХ-топливе ЛВР содержание плутония в отработанном топливе варьируется от 1,6 процента (при загрузке трети активной зоны МОХ-топливом с 4-процентным содержанием плутония) до 4,9 процента (при полной загрузке МОХ-топливом с содержанием плутония в 6,8 процента). Концентрация плутония в свежем топливе не должна превышать 2,5 - 6,8 процентов (11). У реакторов типа КАНДУ, полностью работающих на МОХ-топливе, содержание плутония в отработанном топливе варьируется от 0,8 до 1,4 процента при концентрации плутония в свежем топливе в диапазоне от 1,2 до 2,1 процента (12).

Захоронение отработанного МОХ-топлива затрудняется не только более высоким содержанием плутония, но и большим количеством других трансурановых элементов. В результате отработанное МОХ-топливо обладает более высокой температурой по сравнению с обычным отработанным топливом. Присутствие большего количества трансурановых радионуклидов, например, америция-241, также способствует поддержанию более высокой температуры и вызывает замедление распада уровня тепловой энергии. Таким образом, обращение с отработанным МОХ-топливом требует пересмотра ряда характеристик, в частности, конструкции транспортного оборудования, канистр по хранению и хранилищ. Например, более высокие температуры могут создать проблемы с хранением на реакторах, обладающих ограниченным бассейнами для хранения отработанного топлива. Кроме того, более высокие температуры могут потребовать создания больших по размеру могильников, если они не приспособлены к хранению более теплого отработанного топлива и выдерживать высокие температуры. Большие размеры могильников приведут к пропорциональному удорожанию захоронения отработанного топлива. Более того, если количество остаточного галлия в отработанном МОХ-топливе чересчур велико, это может вызвать ухудшение состояния покрытия отработанного топлива, создать новые проблемы при оценках допустимости захоронения и увеличить риск заражения грунтовых вод.

См. стр. 14

Присутствуют и иные неопределенности, например, способность высокой концентрации галлия привести к дезинтеграции отработанного топлива.

Позиция США состоит в том, что отработанное МОХ-топливо не должно перерабатываться, а подлежит захоронению. Однако Россия хочет сохранить возможность повторного выделения плутония из отработанного МОХ-топлива для последующего его использования в качестве топлива. Переработка отработанного МОХ-топлива и сопряженное с этим обращение с РАО может вызвать дополнительные трудности, связанные с большей концентрацией трансурановых актинидов, отсутствующие в случае с отработанным НОУ-топливом.

Опасения, связанные с ядерным нераспространением

Как отмечалось выше (13), в действительности при использовании МОХ-топлива в ядерных реакторах плутоний не только потребляется ("сжигается"), но и производится – в отличие от того, как это зачастую подается в официальных заявлениях. Основной задачей как иммобилизации, так и варианта с МОХ-топливом является отнюдь не полное избавление от плутония. Ни один из методов не позволяет сделать это. Они лишь способны:

- смешать плутоний с другими материалами, обычно высокорadioактивными расщепляющимися веществами, с тем, чтобы затруднить повторное выделение плутония для использования при производстве оружия; и
- предотвратить несанкционированное использование плутония путем помещения его в высокорadioактивные формы по хранению, которые привели бы к летальному исходу для любого, кто попытался бы их похитить.

В Совместном докладе каждый вариант утилизации плутония рассматривается с точки зрения его соответствия интересам ядерного нераспространения, прежде всего, с точки зрения сроков утилизации, устойчивости к хищениям и несанкционированному использованию, возможности повторного извлечения и использования. Стороны согласились, что процесс утилизации 50 т плутония должен быть завершен в течение 20-40 лет. Широко используемый критерий, позволяющий оценить устойчивость утилизованного плутония к хищениям и несанкционированному использованию, называется "стандарт отработанного топлива". Этот критерий был приведен НАН в докладе 1994 г.. Он означает, что плутоний должно быть столь же сложно украсть, подвергнуть несанкционированному использованию и повторно выделить, как и находящееся в хранилищах отработанное гражданское НОУ-топливо.

Однако этот стандарт не вполне пригоден при оценке долгосрочных проблем безопасности плутония. "Стандарт отработанного топлива" допускает, что плутоний останется в виде отработанного топлива (либо в иной форме, в которую он будет помещен) – т.е., в конечном итоге, подвергнется захоронению в геологических формациях. Однако, согласно Совместному исследованию, российская политика не допускает окончательного захоронения "плутоний-содержащих материалов" (вероятнее всего, включая и отработанное топливо), а предусматривает повторное выделение плутония путем репроцессинга. Минатом постоянно делает вполне ясные заявления о том, что он намерен перерабатывать отработанное МОХ-топливо, а это делает в долгосрочной перспективе бессмысленной идею "стандарта отработанного топлива". Представляется, что США готовы позволить Минатому перерабатывать отработанное МОХ-топливо, нарабатанное в результате программ по утилизации плутония. В Совместном исследовании отмечается, что " ..Россия в конечном итоге будет повторно использовать плутоний, остающийся в [МОХ] топливе. Цели США в области утилизации плуто-

ния будут удовлетворены, когда изотопы оружейного плутония подвергнутся изменениям в результате облучения, топливо приобретет значительный радиационный барьер, и [отработанное] топливо будет храниться в течение нескольких десятилетий до того, как подвергнуться репроцессингу" (14).

Финансовые вопросы (15)

Даже если плутоний будет использоваться для производства энергии в ядерных реакторах, сжигание МОХ-топлива потребует дополнительных затрат. Это произойдет из-за более дорогостоящего процесса производства МОХ-топлива (даже если плутоний будет бесплатным), по сравнению с приобретением НОУ-топлива, включая стоимость сырья (подробнее см. "Энергетика и безопасность" # 1). Согласно оценкам НАН, стоимость МОХ-топлива, произведенного из 50 т плутония, составит примерно 2 млрд. долл.. Если содержание плутония в МОХ-топливе составляет 5 процентов, стоимость утилизации 50 т плутония в МОХ-топливе будет на 500 млн. долл. дороже, чем стоимость уранового топлива. Реальная стоимость такого варианта утилизации для США будет намного выше, т.к. энергетические компании хотели бы получить субсидии на осуществление утилизации и поскольку стоимость может возрасти в результате других неопределенностей и задержек.

Общие оценки стоимости в России и США отличаются из-за различий в правах собственности на реакторы и в особенностях эксплуатации АЭС, а также из-за разной политики в отношении отработанного топлива. Помимо непосредственно стоимости топлива, необходимо принимать во внимание стоимость лицензирования реакторов, транспортировки и мер безопасности, строительства и, при необходимости, модификации реакторов. Для России оценки стоимости, в целом, менее надежны по причине быстро меняющейся экономической ситуации. Из-за приверженности политике репроцессинга отработанного топлива, российские оценки стоимости включают только расходы на 50-летнее хранение, а не окончательное захоронение.



Примечания:

- 1) Почти 12 т этих запасов представлены неоружейным плутонием, произведенным на военных предприятиях.
- 2) Joint United States/Russian Plutonium Disposition Study, September 1996, p. ExSum 2.
- 3) За исключением специально упомянутых случаев, технические аспекты использования МОХ-топлива в реакторах взяты из: Panel on Reactor-Related Options for the Disposition of Excess Weapons Plutonium, Committee on International Security and Arms Control, Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium: Reactor-Related options, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1995.
- 4) Производство испытательных свинцовых сборок в Европе рассматривалось в целях сделать возможным испытания МОХ-топлива в реакторах до завершения создания новых предприятий по его производству. Но такая перспектива представляется все менее реальной.
- 5) За исключением специально упомянутых случаев, факты по вариантам Министерства энергетики США взяты из: Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials Final Programmatic Environmental Impact Statement: Summary, Office of Fissile Materials Disposition, U.S. Department of Energy, December 1996. Данные по российским вариантам приведены в: Joint United

States/Russian Plutonium Disposition Study, September 1996. К сожалению, Совместное исследование имеется только на английском языке. Его краткий обзор был опубликован в России в середине 1997 г.

6) NAS 1995, p. 137.

7) Joint Report, p. WR-27 – WR-29.

8) Для сравнения, загрузка МОХ-топлива в ЛВР может составлять от 33 до 100 процентов при содержании плутония от 2,5 до 6,8 процентов.

9) Подробности о преимуществах реакторов КАНДУ по сравнению с американскими ЛВР см. NAS 1995, pp. 146-151. Производители реакторов рекомендуют ограничивать содержание плутония в свежем топливе в диапазоне от 1,5 до 2,7 процентов.

10) Более подробную информацию по контролю над реактором см.: Science for Democratic Action, Vol. 5, No. 4, February 1997.

11) NAS 1995, pp. 121-122.

12) NAS 1995, p. 252, Table 6-1.

13) В гражданских реакторах плутоний образуется в результате трансмутации урана-238 при бомбардировке нейтронами. Поскольку выделенный из топлива гражданских реакторов плутоний может быть использован при производстве ядерного оружия, этот материал, равно как и плутоний, произведенный в результате реализации программ ядерных вооружений, представляет собой риск для международного режима ядерного нераспространения.

14) Joint Study, p. WR-36-37.

15) Для удобства сопоставления оценок стоимости остекловывания и различных вариантов сжигания в реакторах, каждый из рассматриваемых в настоящем разделе вариантов оценивается из расчета наличия 50 т избыточного оружейного плутония.

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

Со стр. 2

Таким образом, в результате выполнения подобной программы по утилизации плутония Соединенные Штаты могут оказаться вынужденными субсидировать то, против чего им следует выступать, а именно, инфраструктуру плутониевой экономики в России. Представляет интерес, возможно, и не случайное совпадение этого с перспективами создания сходной инфраструктуры в Соединенных Штатах после завершения строительства предприятия по производству МОХ-топлива, а также с возрастающим нежеланием Вашингтона закрыть функционирующие уже в течение многих десятилетий военные радиохимические предприятия в Саванна-Ривер-Сайт в Южной Каролине.

В ответ, Соединенные Штаты получили согласие России отсрочить на несколько десятилетий начало переработки отработанного МОХ-топлива и, вероятно, гарантии расширения сотрудничества со стороны Москвы по созданию системы учета ядерных материалов. Но, в отличие от США, Россия не предоставила данных о своих запасах избыточных материалов и, что более важно, не объявила общие произведенные запасы военных и энергетических ядерных материалов, из которых может быть произведено ядерное оружие.

Даже наиболее скромные цели нынешней американской программы по утилизации плутония посредством МОХ-топлива вряд ли могут быть своевременно выполнены. Такая утилизация займет в России, как минимум, три десятилетия, и, возможно, примерно столько же - в Соединенных Штатах. До этого времени большая часть плутония будет храниться в формах, пригодных для создания ядерного оружия. На практике, утилизация может потребовать еще больше времени, поскольку как в США, так и в России, многие представители общественности выступают против использования МОХ-топлива, принимая во внимание его потенциальную роль в создании плутониевой экономики. Принятое в декабре прошлого года Соединенными Штатами решение о включении варианта с

МОХ-топливом в планы по утилизации плутония вызвало значительную критику в средствах массовой информации и со стороны неправительственных организаций. Начиная с 1989 г. в России существует последовательная оппозиция со стороны общественности (за пределами ядерных городов) строительству предприятий по переработке плутония. Эта оппозиция действует и сегодня. В конце 80-х - начале 90-х гг. из-за сопротивления на местах и недостатка средств было приостановлено строительство обоих подобных объектов - быстрого реактора-размножителя БН-800 и радиохимического предприятия РТ-2.

По сравнению с современными объемами американской помощи Россия не нуждается в значительном увеличении финансового содействия в обеспечении безопасности своих оружейных материалов и перевода избыточного плутония в форму, непригодную для производства оружия. В этих условиях путем предоставления дополнительной помощи Соединенные Штаты могут получить огромные выгоды в сфере безопасности, добываясь тех или иных действий со стороны России. Однако потенциальная помощь США в создании плутониевой инфраструктуры в России может оказаться контрпродуктивной по той же самой причине, согласно которой аналогичные затраты не следует производить и в самих Соединенных Штатах.

Правительства России и США должны уже сейчас принять решение по остекловыванию плутония и его хра-

IEER приветствует нового сотрудника Роберта Брукса. Он будет работать помощником координатора глобального проекта. В прошлом году Роберт работал в Кампании Гринпис по токсичным веществам, а также в других экологических проектах в Западном Техасе вдоль граница между США и Мексикой. Кроме того, он - музыкант, играющий джаз.

нению в образующихся в результате остекловывания стеклянных канистрах. Это отвечало бы российской политике, в соответствии с которой Россия не желает утилизировать плутоний-содержащие материалы в качестве отходов. До настоящего времени одним из результатов переговоров стало то, что Россия согласилась хотя бы рассмотреть вариант с иммобилизацией плутония. Остекловывание с последующим безопасным хранением было бы более безопасным, быстрым и дешевым способом решения острой краткосрочной проблемы перевода оружейного плутония в форму, непригодную для создания оружия, и выигрыша времени, необходимого для достижения надежного соглашения по долговременным аспектам плутониевой безопасности.

Аржун Макхиджани

(1) Joint United States/Russian Plutonium Disposition Study, September 1996, p. ExSum-2.

(2) Ibid., p. WR-35-37.

(3) Ibid.

Аржун Макхиджани
Энни Макхиджани

Ядерные материалы через тусклое стекло
IEER Press



Доклад IEER, анализирующий варианты утилизации плутония и высокообогащенного урана и содержащий рекомендации по быстрейшему переводу этих материалов в форму, непригодную для производства оружия.

Частично этот доклад, наряду с информационными сообщениями IEER, докладами по техническим вопросам и выдержками из других публикаций находятся по адресу Института в Интернете: <http://www.ieer.org>

**The Institute for Energy and
Environmental Research**

6935 Laurel Avenue
Takoma Park, MD 20912

Adress correction requested.

 Printed on recycled paper.


IEER PRESS