

ЭНЕРГЕТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 2 1997 Издание IEER

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА

Франс Беркхарт

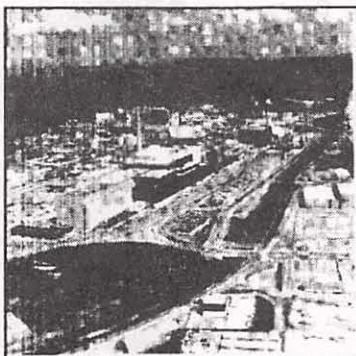
Введение

Ирония состоит в том, что в то время, когда прекращается выделение плутония в военных целях, наработка этого материала в гражданских программах беспрецедентным образом расширяется. Коммерческая переработка, представляющая собой далеко не "мирный дивиденд" окончания "холодной войны", является следствием взглядов и технологических решений, принятых десятилетия назад. Еще несколько лет назад казалось, что из-за дороговизны и непопулярности среди общественности переработка в коммерческих целях переживала медленную смерть. Однако в течение двух последних лет контекст дебатов существенно изменился. В настоящей статье содержится попытка объяснения изменений, происходящих в международном бизнесе в области переработки отработанного топлива.

Суть переработки плутония

Подавляющее большинство современных энергетических реакторов использует в качестве топлива обогащенный уран. Для получения тепла энергетический, или расщепляющийся уран (уран-235) облучается и расщепляется в реакторе. В течение трех-пяти лет расщепляющаяся составляющая топлива постепенно вырабатывается. Это выработанное или отработанное топливо нуждается в замене на свежее топливо. Это означает, что высокотемпературное и высокорадиоактивное отработанное топливо извлекается из реактора. Его тепло и радиоактивность образуются в результате распада новых радиоактивных материалов, создаваемых в процессе производства атомной энергии.

С целью охлаждения после извлечения из реактора отработанное топливо подлежит безопасному хранению, обычно под водой. В более долгосрочной перспективе имеется два альтернативных пути обращения с отработанным топливом. Либо оно будет по-прежнему храниться и, возможно, окончательно захоронено как отходы (прямое захоронение), либо это топливо будет переработано химическими методами для выделения его составляющих ("замкнутый" цикл). Переработка (репроцессинг) представляет собой химическое выделение плутония (концентрация по весу от 0,2 до 1 процента) и урана (95-96 процентов) из продуктов деления и других долгоживущих отходов (3-4 процента), содержащихся в отработанном ядерном топливе. В целом, до настоящего времени было переработано порядка одной трети извлеченного из энергетических реакторов отработанного топлива, остальная часть находится в посто-



Радиохимическое предприятие THORP в Селлафилде, Великобритания, вступившее в строй в 1994 г.

янных хранилищах в ожидании окончательного захоронения.

Аргументы в пользу переработки

Для изложения истории появления гражданского репроцессинга следует знать не только технологические и материальные особенности, но и взгляды и оценки, обусловившие его появление и развитие. Ядерная переработка является квинтэссенцией "большой" технологии. Например, создание предприятия THORP в Селлафилде (Великобритания) от стадии планирования до начала производства заняло 20 лет. Общая стоимость предприятия достигла 4 млрд. долл.. "Большие" технологии требуют убедительной аргументации. Со временем, по мере изменения взглядов и условий, вынуждена меняться и аргументация.

Эволюцию аргументов в пользу гражданского репроцессинга можно разделить на три временных этапа. На ранней стадии, пришедшейся на 60-е - середину 70-х гг., переработка рассматривалась в качестве единственного жизнеспособного варианта обращения с большой частью отработанного топлива. Утилизация плутония в реакторах на быстрых нейтронах (реакторах "размножителях") виделась как важнейший фактор долгосрочного роста атомной энергетики в век ограниченных энергетических ресурсов. Подобная утилизация отработанного топлива позволила бы "разблокировать" энергетический потенциал имеющегося в природе в больших количествах урана-238, который не расщепляется в обычных реакторах в достаточных масштабах.

Продолжение на стр.2

МНЕНИЕ

Лидия Попова

В конце 1995 г. экологическому сообществу в России стало известно о письме, направленном министру энергетики США Хэйзел О'Лири и подписанным председателем управления США по безопасности ядерных объектов оборонного назначения Джоном Конвеем, в котором поддерживался репроцессинг в качестве метода обращения с отработанным топливом.

Начало репроцессинга в феврале 1996 г. на объекте в Саванна-Ривер-Сайт было расценено российской общественностью как подтверждение намерения правительства США пересмотреть политику в отношении репроцессинга, принятую еще в период президента Джимми Картера.

Продолжение на стр.11

Продолжение со стр. 1

На второй стадии, с середины 70-х до конца 80-х гг., экономические и стратегические стимулы репроцессинга постепенно сошли на нет. Ядерная энергетикаросла более медленными темпами, чем ожидалось, и уран превратился из ограниченного в достаточно распространенный ресурс. Низкие цены на уран подорвали экономическую ценность плутония, реальная стоимость которого значительно выросла из-за существенного увеличения стоимости репроцессинга. Одновременно, несмотря на огромные затраты государственных средств на научные исследования и разработки в области реакторов "размножителей", их коммерческое использование, главным образом, из-за наличия больших технических сложностей, оставалось далекой мечтой. В этот период последствия "плутониевой экономики", связанные с риском ядерного распространения, превратились в серьезную международную проблему. Начиная с середины 70-х гг. Соединенные Штаты стали де факто проводить политику, направленную против гражданского репроцессинга. Таким образом, аргументация в пользу переработки и использования плутония в качестве топлива становилась все менее убедительной. Вместо этого, сторонники репроцессинга стали делать растущий акцент на то, что переработка менее опасна с экологической точки зрения по сравнению с альтернативным методом хранения/прямого захоронения.

В настоящее время, в большинстве стран вариант с хранением/прямым захоронением превратился в основной метод обращения с отработанным топливом. Репроцессинг выжил, главным образом, благодаря инерции производственных и коммерческих решений, принятых в 70-е и 80-е гг.. В будущем он, скорее всего, сохранится в небольшом количестве государств - членов "клуба репроцессинга": в Великобритании, России, Франции, Японии и, возможно, Индии. Несмотря на явную общую негативную тенденцию, связанные с экономикой, экологией и безопасностью аргументы в пользу этого метода продолжают выдвигаться.

Эволюция гражданского репроцессинга

Гражданской репроцессинг остается привилегией немногих. Ядерные государства приобрели здесь первоначальные коммерческие преимущества, от которых они так и сумели отказаться. В настоящее время в мире имеется всего четыре коммерческих радиохимических предприятия: La-Hag и Маркуль во Франции, Уиндсдейл-Селлафилд в Великобритании и Челябинск 65-Озерск в России. На этих предприятиях было осуществлено более 95 процентов гражданского репроцессинга в мире. Они представляют собой часть глобальной системы обращения с отработанным топливом, в которой извлеченное из реакторов топливо направляется на радиохимические заводы, а выделенные материалы (плутоний, уран и отходы) обычно, на основании контракта, возвращаются к собственнику топлива. Кроме того, продолжает действовать ряд небольших предприятий по переработке. Основные радиохимические предприятия в мире показаны на карте.

Для того, чтобы понять будущие перспективы репроцессинга, необходимо рассмотреть его развитие в прошлом.

Технология репроцессинга и гипотеза о том, что облученное (или отработанное) топливо подлежит химической переработке, представляет собой наследие про-

грамм по созданию атомной бомбы. В Великобритании и Франции радиохимические предприятия в Уиндсдейле (теперь называется Селлафилд) и Маркуле первоначально использовались для производства оружейного плутония, а начиная с середины 60-х гг. на них перерабаты-

Продолжение на стр. 6

ЭНЕРГЕТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

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

6935 Laurel Avenue, Takoma Park, MD 20912, USA.

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

Электронная почта: ieer@ieer.org

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

Авторы статей выражают собственные взгляды, не обязательно совпадающие со взглядами IEER

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

Сотрудники IEER:

Президент: Аркун Маюцдзани

Исполнительный директор: Бернд Франк

Заместитель библиотекой: Луис Чалмерс

Инженер: Марк Фюравенти

Библиотекарь: Дайана Кон

Исследователь: Анна Маюцдзани

Координатор внешних связей: Тилт Ортизнер

Координатор международных связей: Анита Сет

Ассистент: Бетси Турлоу-Шилдс

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

Фонду У. Элтона Джонса,

Фонду Джона Д. и Кэтрин Т. Макартуров,

Фонду Си-Эс.

Мы также благодарим спонсоров наших остальных проектов, на которые мы в значительной степени опираемся при осуществлении глобального проекта: Фонду "Паблик Уэлфар", Фонду Джона Мерка, Фонду Глоушера, Программе "Онитарио Ониверсалит Витч" в Шелтер-Рок, "Роуднейл Файнэншил Сервис", Тресту пожертвований Стиварта Р. Мотта, Фонду Таун Крик.

Английское издание:

Исполнительный редактор: Анита Сет

Дизайн: Cutting Edge Graphics, Washington, DC

Фотографии: British Nuclear Fuels, Ltd, Министерство энергетики США

Русское издание:

Директор русского издания: Александр Пикаев

Консультант: Олег Бухарин

Подготовлено при содействии Комитета по критическим технологиям и ядерному распространению

Вышло в свет в феврале 1997 г.

Все права на бюллетень "Энергетика и безопасность" распространяются бесплатно.



ФРАНЦУЗСКИЙ РЕПРОЦЕССИНГ

Майкл Шнейдер и Матье Паваго

Во Франции производство плутония началось в рамках исследовательской программы по созданию ядерного оружия, реализация которой началась после второй мировой войны. Три реактора по производству плутония были введены в эксплуатацию в период между 1956-58 гг. в г. Маркуль. Первый полномасштабный радиохимический завод UP1¹ начал функционировать в 1958 г.

В 1976 г. была основана компания КОЖЕМА, принадлежащая Комиссариату по атомной энергии (КАЭ). В ее ведение были переданы технологии и объекты, созданные в рамках программ по созданию ядерного оружия. КОЖЕМА отвечает за реализацию французской программы по репроцессингу и заключает контракты как с военными, так и с французской гражданской электрической компанией "Электриските де Франс" (ЭДФ). КОЖЕМА принадлежит два крупных радиохимических предприятия в Ла-Хаг (UP2 и UP3). В 1995 г. вместе они произвели около 80 процентов всего выделенного плутония в мире. Номинальная ежегодная мощность каждого предприятия составляет 800 т тяжелого металла, что эквивалентно производству выделенного плутония в размере 8000 кг в год. Эксплуатация UP2 началась в 1966 г., первоначально оно предназначалось для переработки отработанного топлива реакторов Магнокс. Его номинальная мощность постоянно менялась до тех пор, пока не была установлена в размере 400 т в год. Начиная с 1976 г. на предприятии были установлены дополнительные мощности, позволяющие перерабатывать оксидное топливо легководных реакторов (ЛВР). После 1994 г., в результате значительной модификации и расширения, предприятие действует под наименованием UP2-800, что отражает новую ежегодную номинальную мощность завода. Предприятие UP3 вступило в строй в 1990 г..

В течение последних 20 лет развитие французской промышленности зависело от крупных контрактов с зарубежными поставщиками ОЯТ. Более половины перерабатываемого в Ла-Хаг отработанного топлива ЛВР - иностранного происхождения. Предприятие UP2 перерабатывало топливо зарубежных клиентов до 1990 г.. После этого оно целиком переключилось на французских поставщиков (за исключением небольшого количества немецкого МОХ-топлива, перерабатываемого в демонстрационных целях). Предприятие UP3, финансируемое иностранными инвесторами, как ожидается, будет перерабатывать исключительно поступающее из-за границы топливо примерно до 2000 г.. В 1977 и 1978 гг. 30 инвесторов из семи стран приступили к финансированию строительства UP3, получив в обмен контракты на переработку топлива на этом предприятии в течение первых десяти лет его эксплуатации. В настоящее время КОЖЕМА предоставляет услуги по переработке ядерного топлива для энергетических компаний Германии, Японии, Бельгии, Нидерландов и Швейцарии. СЖН, дочерняя инженерная компания КОЖЕМА, предоставила основанное на технологии заводов в Ла-Хаг ноу-хау для

строительства радиохимического предприятия в Роккашо-мура в Японии.

Несмотря на долговременное осуществление декларируемой политики по переработке всего извлекаемого из реакторов отработанного топлива, Франция оказалась неспособной осуществить это на практике. В настоящее время мощности радиохимических заводов в Ла-Хаг целиком заполнены ЭДФ и иностранными поставщиками, что позволяет КОЖЕМА перерабатывать 850 т из примерно 1200 т ОЯТ, ежегодно нарабатываемого французскими реакторами. Не подвергаемое репроцессингу отработанное топливо направляется в хранилища. В 1996 г. впервые стало ясно, что ЭДФ более не намерена придерживаться политики переработки всего отработанного топлива. В настоящее время внутри французского ядерного истэблишмента разразился настоящий конфликт относительно определения будущей стратегии обращения с отработанным ядерным топливом. Уже в 1992 г. ЭДФ приняла широко не афишировавшееся решение "При принятии решения о переработке не принимать более во внимание ценность выделяемого плутония, учитывая неопределенность его будущего использования"².

ЭДФ также выразила сомнение относительно использования смесевого уран-плутониевого (МОХ) топлива из-за его высокой стоимости по сравнению с урановым топливом. В настоящее время 16 реакторов получили лицензию на использование МОХ-топлива (при 30 процентной загрузке). К концу 1996 г. девять из них уже были загружены этим топливом. ЭДФ вынуждена расширять свою МОХ-топливную программу и запросила лицензии на использование МОХ-топлива дополнительно для 12 реакторов. Согласно информации, полученной организацией WISE-Париж, недавно министр промышленности Франции дал указание ЭДФ увеличить со следующего года количество реакторов, способных потреблять МОХ-топливо, до десяти. Франция уже располагает очень значительными запасами плутония, которые еще более возрастут в последующие годы по причине ограниченных мощностей по производству МОХ-топлива и сохранению уровня производства самого плутония. По состоянию на декабрь 1995 г. официальные данные по французским запасам необлученного плутония в различных формах (выделенного, свежего МОХ-топлива и т.п.) достигли 55300 кг; в том числе 27500 кг принадлежало иностранным государствам³. Таким образом, Франция стоит перед лицом дальнейшего обострения обеих проблем: отработанного топлива и запасов выделенного плутония.

Майкл Шнейдер - автор многих публикаций по ядерным и энергетическим вопросам, работает в качестве журналиста и консультанта. Он является одним из основателей и директором Всемирной информационной службы по энергетике в Париже (WISE-Париж). **Матье Паваго** - исследователь в WISE-Париж, занимающийся, в основном, проблемами обращения с радиоактивными отходами и вопросами плутониевой промышленности. Он является соавтором многих публикаций WISE-Париж.

² EDF, "Annual Report 1994", Paris, 1995.

³ Ministere de l'Industrie, "L'energie nucleaire en 110 questions", Ed. Le Cherche Midi, Octobre 1996.

¹ UP означает "usine de plutonium" - завод по производству плутония.

ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

Франс Беркхгаут



После Франции Великобритания является крупнейшей мировой державой по переработке отработанного топлива реакторов АЭС. Эта деятельность осуществляется на предприятии в Уиндслейе/Селлафилде на северо-западе Англии¹. Гражданский репроцессинг начался в Уиндслейе в 1964 г.; его планируется продолжить, как минимум, до 2010 г.. На Диаграмме 1 показана динамика выделения плутония в Селлафилде.

Переработка топлива тепловых реакторов

Начиная с 1964 г. топливо ядерных реакторов "Магнокс" перерабатывается в здании 205 (B205) в Уиндслейе/Селлафилде. Это предприятие играло важнейшую роль в британской программе по созданию и эксплуатации реакторов "Магнокс". Кроме того, оно обслуживает реакторы данного типа, действующие в Японии и Италии. В Селлафилде перевозится все отработанное топливо реакторов "Магнокс". К концу 1995 г. в B205 было переработано 26800 т отработанного топлива, из которого было выделено порядка 59 т плутония. Переработку топлива реакторов "Магнокс" планируется продолжать до 2015 г., т.е. в течении 5 лет после закрытия последнего реактора данного типа в Великобритании. К тому времени в B205 будет выделено около 90 т плутония.



В 1969 г. в Уиндслейе началась переработка оксидного топлива: был введен в строй завод Хед-энд (HEP - Head-End Plant), где оксидное топливо перерабатывалось в сырье для предприятия B205. Всего до аварии, вызвавшей временное закрытие B205 в 1973 г., в комплексе HEP/B205 было переработано 110 т топлива и выделено около 400 кг плутония.

¹ В начале 80-х гг. радиохимическое предприятие, эксплуатируемое в гражданских целях, было переименовано из Уиндслейла в Селлафилд.

В 1995 г. началась крупномасштабная переработка оксидного топлива после открытия Завода по переработке тепловых оксидов (THORP - Thermal Oxide Reprocessing Plant) мощностью 700 т топлива в год. В течение первых десяти лет примерно 70 процентов производства на THORP будет обеспечено поставками топлива из-за рубежа. До 2005 г. должны быть выполнены контракты на переработку 6600 т отработанного топлива. Ситуация с контрактами на период после 2005 г. пока не столь определена. Британская энергетическая компания "Бритиш Энерджи" предполагает переработать 2600 т топлива; кроме того, в 1990 г. немецкие энергетические компании подписали контракты на переработку 700 т. Эти контракты обеспечивают функционирование THORP до 2010 г..

Переработка топлива реакторов-размножителей

Начиная с июля 1958 г. переработка топлива реакторов-размножителей и исследовательских реакторов типа MTR (Materials Test Reactor) осуществляется в Дунрее в Северной Шотландии. Там действуют два предприятия, находящиеся в ведении Управления по атомной энергии Соединенного Королевства: D1204 для переработки топлива реакторов MTR и D1206 - реакторов-размножителей. D1204 представляет собой небольшое предприятие, перерабатывающее топливо как британских, так и иностранных исследовательских реакторов. D1206 было открыто в 1961 г. и перерабатывает топливо

на базе высокообогащенного урана с Демонстрационного реактора-размножителя, закрытого в 1977 г., и Прототипа реактора-размножителя, остановленного в 1994 г.. Оба этих реактора также находились в Дунрее. К концу 1995 г. там была переработана 21 т топлива, содержащая около 4,5 т плутония. В отсутствие новых контрактов на переработку топлива реакторов MTR предприятие D1206 предполагается закрыть в 1997-98 гг..

Франс Беркхгаут - старший научный сотрудник Отделения исследований научной политики Университета Сассекса (Великобритания). Там он возглавляет программу по окружающей среде и технологии. Ранее он работал в Центре проблем энергетики и окружающей среды Принстонского университета. Совместно с Дэвидом Олбрайтом и Уильямом Уолкером он является автором книги 'Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: World Inventories, Capabilities and Policies', которая готовится к публикации издательством "Оксфорд Юниверсити Пресс" совместно с Стокгольмским Институтом исследований проблем мира (СИПРИ).



ЯПОНИЯ

Джинзабуро Такаги

Японская политика в области ядерного топливного цикла состоит в достижении полной переработки всего отработанного топлива и потребления в качестве реакторного топлива всего выделенного плутония. В рамках этой политики государственная Корпорация по разработке энергетических реакторов и ядерного топлива (PNC - Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) создала и приступила в 1977 г. к эксплуатации Токайского радиохимического предприятия. Японские компании по производству электроэнергии также подписали контракты с корпорациями КОГЕМА и БНФЛ о переработке около 700 т отработанного топлива на предприятиях в Ла-Хаг (Франция) и Селлафилде (Великобритания). Кроме того, корпорация "Джапан ньюклоар фьюэл лимитед" (ДжНФЛ) приступила к строительству коммерческого предприятия в Роккашо (префектура Аомори), который, согласно официальным планам, должен вступить в строй к середине 2000 г..

Однако реальный ход дел в Японии показывает, что проводимая политика, направленная на создание производственной базы замкнутого топливного цикла, в значительной степени отклоняется от практических потребностей. Согласно правительственной статистике, к концу 1994 фин.г. (31 марта 1995 г.) общее количество накопленного отработанного топлива легководных реакторов (ЛВР) достигло 10400 т. Эта цифра увеличивается на 1000 т ежегодно. Предприятие в Токаяе функционирует в качестве пилотного и к концу 1995 фин.г. переработало всего 864 т отработанного топлива.

Принимая во внимание незначительную мощность предприятия в Токаяе, наряду с принятием решения о том, что новые контракты на переработку топлива за границей более не будут заключаться, Япония не сможет переработать все свое накопленное отработанное топливо. Даже если, как и планируется, завод в Роккашо выйдет на полную проектную мощность к середине 2000 г., его мощности по переработке 800 т и по хранению 3000 т тяжелого металла сумеют поглотить лишь незначительную долю уже накопленного отработанного топлива, а также того топлива, которое будет продолжать нарабатываться из года в год.

Более того, растущие оценки стоимости строительства предприятия в Роккашо делают его будущее все более проблематичным. Последние приведенные ДжНФЛ оценки затрат на строительство, включая создание объекта по остекловыванию жидких высокорадиоактивных отходов, составляют 1,88 трлн. йен (17 млрд. долл.), что в 6-7 раз превышает стоимость аналогичных европейских предприятий. Вероятно, что строительство будет приостановлено после ожидаемого в 1997 г. завершения создания бассейна для хранения отработанного топлива.

С точки зрения потребления плутония центральное правительство и энергетические компании оказались перед лицом серьезной проблемы излишков. Амбициозная японская плутониевая программа переживает серьезные технические, экономические и политические трудности. После инцидента с судном "Акацуки-мару", перевозившего 1,5 т плутония из Франции в Японию, внутри страны и за рубежом возникла значительная обеспокоенность относительно безопасности и надлежащей фи-



зической защиты японских ядерных материалов. В 1995 г. японские энергетические компании вынудили правительство прекратить по экономическим соображениям реализацию проекта по созданию использующего МОХ-топливо перспективного теплового реактора Ома. Инцидент с утечкой натриевого охладителя на реакторе-размножителе Монджу, произошедший 8 декабря 1995 г., нанес серьезный удар по всей правительственной плутониевой программе. После этого реализация японской программы по созданию быстрых реакторов была отложена, вероятно, на неопределенный срок.

В целях выполнения обязательств по отказу от накопления запасов плутония японское правительство планирует использовать большую часть выделенного в Европе плутония в качестве МОХ-топлива для легководных реакторов. Однако программа по использованию МОХ-топлива также может подвергнуться значительным изменениям из-за оппозиции со стороны местных властей. В этом случае принадлежащий Японии большой запас уже выделенного в Европе плутония в размере 8,7 т (по состоянию на конец 1994 г.) возрастет к концу столетия до 20-25 т.

Политика Японии в области репроцессинга стоит перед лицом весьма курьезного противоречия. С одной стороны, Токио испытывает трудности, связанные с недостатком мощностей по переработке отработанного топлива. С другой стороны, не решена проблема все возрастающих запасов избыточного плутония. Политика создания основанного на репроцессинге замкнутого ядерного топливного цикла становится все более противоречивой и все менее объяснимой. Единственным выходом из создавшихся трудностей видится пересмотр политики в отношении репроцессинга с целью предотвращения дальнейшего накопления избытков выделенного плутония.

Джинзабуро Такаги - исполнительный директор Центра гражданской ядерной информации в Токио.

Продолжение со стр. 2

МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

вается топливо с энергетических реакторов Магнокс. Находясь под водой, металлическое топливо этих ранних реакторов с газовым охлаждением быстро корродирует. Поэтому, в отсутствие сухих хранилищ, быстрая переработка топлива этих систем реакторов является требованием безопасности и охраны окружающей среды. Практически все отработанное топливо реакторов Магнокс перерабатывается. Примерно к 2010 г. переработка топлива этих реакторов будет прекращена из-за ожидаемого прекращения их деятельности в Великобритании, Испании, Франции и Японии. К настоящему времени было переработано около 40 тыс.т топлива реакторов Магнокс; 80 процентов этого количества - на предприятии B205 в Уиндскойле/Селлафилде.

Оксидное топливо, используемое в легководных (ЛВР) и перспективных реакторах с газовым охлаждением (АГР), подлежит безопасному хранению в течение более продолжительного времени. Поэтому данные реакторные системы в меньшей степени зависят от репроцессинга. Более того, для переработки оксидного топлива необходимо построить новые коммерческие радиохимические предприятия. Все это является причиной того, что переработка оксидного топлива развивалась более медленными темпами.

В 1966 г. переработка оксидного топлива началась на объекте "Ньюклерар фьюел сервис" в Уэст-Вэлли, штат Нью-Йорк, а также на небольшой установке "Юрохемик" в Бельгии. В 1969 г. в Уиндскойле начало функционировать предприятие "Хед-энд" (HEP), перерабатывающее оксидное топливо для завода B205, где осуществляется непосредственное выделение материалов. Эксплуатация всех этих предприятий была довольно быстро прекращена. В 1972 г. по коммерческим соображениям было закрыто предприятие в Уэст-Вэлли, в 1973 г. из-за аварии был остановлен завод в Уиндскойле, а установка "Юрохемик" прекратила функционирование в 1975 г. после того, как в ее деятельности прекратили участвовать французские и немецкие партнеры.

Закрытие этих предприятий совпало по времени с возобновлением интереса к гражданскому репроцессингу. Энергетический кризис 1973-74 гг. способствовал тому, что в энергетической политике больше внимания стало уделяться атомной энергетике. Утверждалось, что в долгосрочном плане ядерная энергетика будет основываться на плутониевом топливе быстрых реакторов, поскольку предполагавшийся рост мощностей АЭС не мог быть обеспечен имевшимися запасами урана. В течение короткого времени во многих странах репроцессинг и коммерциализация быстрых реакторов превратились в основные направления энергетической политики.

Появившиеся возможности были использованы занимающимися переработкой британской и французской корпорациями Бритиш Ньюклерар Фьюелс, лимитед (БНФЛ) и КОЖЕМА. Они приступили к реализации амбициозных проектов по расширению репроцессинга в Селлафилде и Ла-Хаг. Эти предприятия должны были обслуживать как национальные, так и иностранные реакторы; в 1978 и 1979 гг. соответствующие контракты были подписаны с европейскими и японскими энергети-

ками. Более 60 процентов мощностей этих предприятий сроком на первые десять лет были проданы иностранным потребителям, которые и финансировали основную стоимость создания UP3 и THORP. Эксплуатация UP3 началась в 1990 г., а UP2-800 и THORP - в 1994 г..

Программы по репроцессингу начались и в некоторых других странах, а именно, в Германии и Японии. В 70-е гг. в обоих государствах началась эксплуатация пилотных радиохимических предприятий (WAK в Карлсруэ, Германия, и Токай-мура в Японии), они также приступили к разработке планов по созданию крупных коммерческих заводов. Реализация германской программы продолжалась до 1989 г., когда она была прекращена из-за значительной стоимости и непопулярности среди общественности. Японская программа выполнялась более медленными темпами по сравнению с первоначально планировавшимися, частично по причине враждебной международной реакции на плутониевую программу Токио. Строительство коммерческого предприятия в Роккашо-мура началось в 1992 г.; его проект был во многом основан на французской технологии.

Также в 70-е гг. началось создание возглавляемого Советским Союзом самостоятельного режима обращения с отработанным топливом. Частично, из соображений ядерного нераспространения топливный цикл реакторов советского производства находился под централизованным контролем министерства атомной энергии и промышленности (МАЭП, позднее, Минатом). Отработанное топливо из небольших легководных реакторов типа ВВЭР-440, построенных в Советском Союзе, Восточной Европе и Финляндии, обычно направлялось для переработки в Челябинск 65/Озерск. В соответствии с межправительственными соглашениями, подобное "возвращение" ядерных материалов осуществлялось бесплатно. Выделенный из отработанного топлива плутоний оставался собственностью Минатома и складировался для предполагаемого будущего использования в быстрых реакторах.

Ситуация сегодня

Сегодня существует два самостоятельных режима репроцессинга: японо-европейский и российский.

Японо-европейская система, созданная вокруг предприятий в Ла-Хаг и Селлафилде, является практически полностью завершенной. Переработка топлива реакторов Магнокс осуществляется в Селлафилде в масштабах примерно 1000 т в год. В 1998 г. общий объем переработки оксидного топлива во Франции и Великобритании достигнет порядка 2350 т после того, как предприятие THORP заработает на полную мощность. Эти три завода перерабатывают топливо со 150 реакторов, расположенных в девяти странах (включая Великобританию и Францию). К трем основным радиохимическим заводам следует добавить небольшое японское предприятие в Токай, обладающее мощностью около 100 т в год.

В 2003 г. эта система должна быть дополнена предприятием в Роккашо-мура мощностью в 800 т ежегодно. Однако после аварии на реакторе на быстрых нейтронах в Монджу в декабре 1995 г. японская плутониевая политика находится в стадии пересмотра.

Продолжение на стр. 14

ЭКОНОМИКА РЕПРОЦЕССИНГА

В течение последних десяти лет сравнительные экономические аспекты утилизации отходов путем репроцессинга и метода временного хранения/прямого захоронения находились в фокусе ведущихся дебатов. В этих целях применялись многие подходы и, в определенной степени, выбор подхода оказывал воздействие на результаты исследования. В настоящее время наиболее высокую оценку получили полномасштабные исследования, проведенные Агентством по атомной энергии ОЭСР (Организации экономического сотрудничества и развития) в 1994 г.¹ и Германским институтом энергетического хозяйства (EWI - Energiewirtschaftlichen Instituts) в 1995 г.² Разумеется, ни одно из этих исследований не является истиной в последней инстанции, поскольку всегда имеются известные неопределенности и факторы, связанные с национальными особенностями. Тем не менее, в целом они отражают существующий спектр мнений.

В указанных работах было проведено моделирование общей стоимости топливного цикла при наличии системы переработки, основанной на утилизации плутония в

затрат при утилизации повторно выделенного урана и плутония. В исследовании EWI разница в стоимости обоих методов составляет 25 процентов.

Более грубые оценки основаны на концепции "бесплатного плутония", при которой не учитываются расходы на выделение плутония при репроцессинге⁴. Этот метод более близок к сегодняшней реальной картине деятельности энергетических компаний: многие из них рассматривают репроцессинг в качестве скрытых расходов, которые они вынуждены нести в результате заключения контрактов с радиохимическими предприятиями. Это также объясняет, почему в исследовании VDEW учитываются дополнительные затраты на утилизацию плутония. Согласно сценарию "бесплатного плутония", прибыльность экономики MOX-топлива зависит от баланса экономии, полученной в результате отказа от закупок урановой руды и отсутствия необходимости в обогащении урана, и дополнительных затрат на производство плутониевого топлива. Производство MOX-топлива более дорогостоящее, чем производство топлива на низкообогащенном уране

Таблица 1. Соотношение стоимости репроцессинга и метода хранения/прямого захоронения отходов: конечные затраты (без учета скидок, млн. кВт·ч)³

	ОЭСР/КОЖЕМА (1994)		VDEW (1993) (1)	
	Репро-цессинг	МХПЗ ^(*)	Репро-цессинг	МХПЗ
Транспортировка топлива	0,20 (**)	0,20	0,38	0,12
Хранение топлива	-	0,62	-	1,06
Репроцессинг	2,40	-	4,16	-
Упаковка отработанного топлива	-	1,0	-	1,86 ⁽²⁾
Хранение и упаковка отходов	-	-	2,32	0,46
Обращение с отходами	0,22	0,38	2,32	2,32
Всего:	2,82	2,20	9,14	5,92
Поправка на ценность урана ⁽³⁾	-0,36	-	+0,46	-
Поправка на ценность плутония ⁽³⁾	-0,14	-	+1,62	-
Всего:	-0,50	-	+2,08	-
Общие затраты:	2,32	2,20	11,26	5,92

(*) МХПЗ - метод хранения/прямого захоронения отходов

(**) Для перевода цифр данной таблицы в \$/т топлива их следует умножить на 356,4.

(1) Предполагая эффективность урана 0,33, а облучение топлива-45 ГВт/т

(2) Предполагая мощность предприятия в 450 т тяжелого металла в год

(3) Знак "минус" означает экономию средств за счет использования повторно выделенных продуктов; это ведет к уменьшению общей стоимости топливного цикла.

тепловых реакторах. Полученные результаты сравнивались с общей стоимостью незамкнутого топливного цикла с последующим прямым захоронением отходов. Спектр полученных в указанных исследованиях результатов чрезвычайно широк, однако все они сходятся в том, что в современных экономических условиях репроцессинг представляет собой более дорогостоящий метод. Предметом дебатов является лишь то, насколько он дороже. В Таблице 1 представлены результаты двух недавних исследований, содержащих крайние оценки: исследование ОЭСР 1994 г. в обновленной интерпретации компании КОЖЕМА, и исследование 1993 г., проведенное германской компанией VDEW (Vereinigung Deutscher Elektrizitaetswerke). Данные ОЭСР показывают лишь незначительную разницу в стоимости двух методов, тогда как цифры VDEW говорят о том, что в условиях Германии вариант репроцессинга обошелся бы вдвое дороже по сравнению с методом хранения/прямого захоронения отходов. Основные различия связаны с оценками стоимости самого репроцессинга и обращения с отходами, а также с неопределенностью относительно размеров экономии и дополнительных за-

(НОУ), поскольку обращение с плутонием требует принятия дополнительных мер безопасности.

При сохранении современных цен на уран, обогащение и производство топлива, MOX-топливо будет оставаться дороже НОУ-топлива и в дальнейшем. Даже если предположить, что новые крупные предприятия по производству MOX-топлива (Ханау, Мелокс) будут работать на полную мощность, стоимость MOX-топлива вдвое превысит стоимость НОУ-топлива.

Продолжение на стр.9.

¹ OECD Nuclear Energy Agency, The Economics of the Nuclear Fuel Cycle, Paris, 1994.

² I. Hensing and W. Schultz, Economic Comparison of Nuclear Fuel Cycle Options, „Energiewirtschaftlichen Instituts, Cologne, 1995.

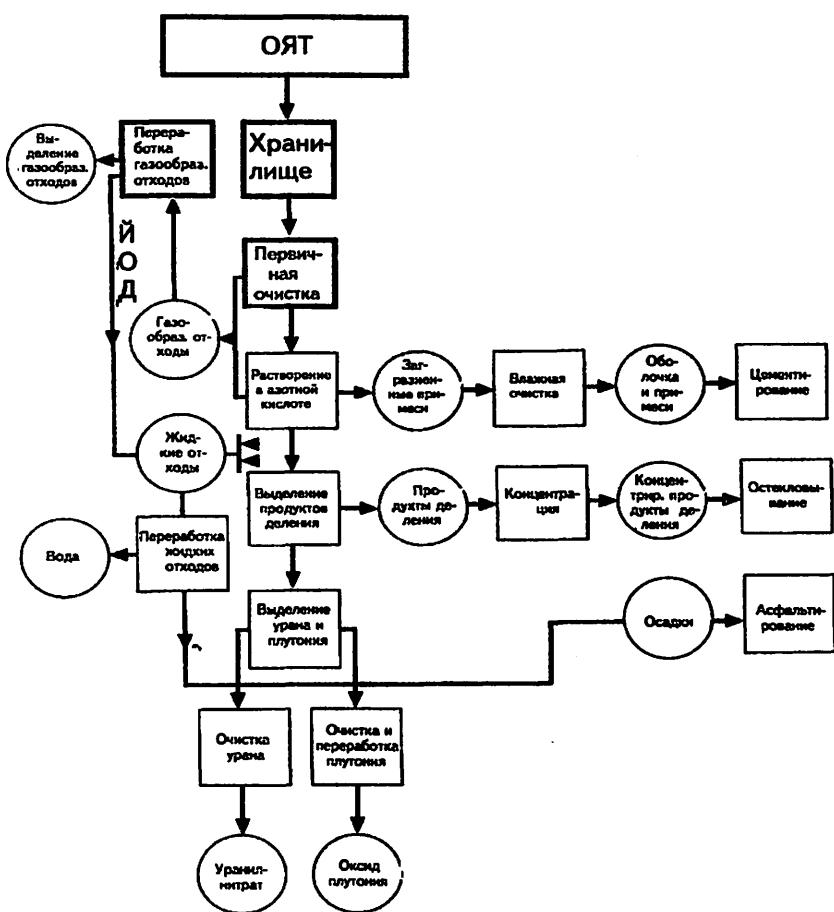
³ Cogema, Reprocessing-Recycling: the Industrial Stakes, presentation to the Konrad-Adenauer-Stiftung, Bonn, May 1995.

⁴ OECD Nuclear Energy Agency, Plutonium Fuel: An Assessment, Paris, 1989.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО РЕПРОЦЕССИНГУ

Обычно репроцессинг рассматривается в качестве ключевого элемента, соединяющего гражданскую атомную энергетику и производство ядерного оружия, поскольку плутоний, выделяемый из облученного топлива, может использоваться при создании ядерных боезарядов. В течение последних тридцати лет ядерная индустрия осуществляла широкомасштабный "коммерческий" репроцессинг, в надежде, что плутоний станет экономически эффективным энергетическим ресурсом (о более полной информации о плутонии как об источнике энергии см. Выпуск 1 "Энергетики и безопасность"). На карте 1 представлены основные радиохимические предприятия энергетического и военного назначения. Указана также проектная мощность заводов энергетического назначения. В ходе репроцессинга в военных и гражданских целях применяется идентичный метод выделения плутония; этот метод различается лишь в связи с типом перерабатываемого ОЯТ.

Процесс ПУРЕКС



Составлено по публикации КОЖЕМА
Le Retraitement des Combustibles

В реакторе находящийся в топливных стержнях уран-238 преобразуется в расщепляющийся плутоний-

239. Это происходит в результате поглощения нейтронов и последующих ядерных реакций. С течением времени путем поглощения добавочного нейтрона некоторое количество плутония-239 преобразуется в нерасщепляющийся плутоний-240. В ходе эксплуатации реактора все большее количество урана-238 превращается в плутоний-239, что также приводит к растущей концентрации плутония-240. При более длительном облучении образуются и более высокие изотопы - плутоний-241 и плутоний-242.

Как правило, в гражданских реакторах отработанное топливо представляет собой ОЯТ "глубокого выгорания" - т.е. оно облучалось в реакторе в течение продолжительного времени с целью производства большего количества энергии. Обычно отработанное топливо водяных реакторов под давлением (наиболее распространенный тип гражданских реакторов) содержит примерно 0,7 процентов плутония-239 и плутония-241 (расщепляющиеся изотопы) и 0,2 процента нерасщепляющихся изотопов плутония. Уран, облучаемый для выделения оружейного плутония, является топливом "неглубокого выгорания". Оно не подлежит длительному облучению с целью минимизировать образование плутония-240 и других нежелательных более высоких изотопов плутония. Отработанное топливо военных реакторов содержит небольшое количество плутония, в основном, представленного изотопом плутония-239. Плутоний, содержащий менее 6-7 процентов плутония-240, считается "оружейным", однако ядерный боеприпас можно создать и на основе плутония "глубокого выгорания" коммерческих реакторов.

Плутоний не может быть использован до его извлечения из ОЯТ путем репроцессинга. Наиболее распространенным методом репроцессинга является "Пурекс" (от англ. Pirex - Plutonium-URanium EXtraction) (см. диаграмму). Это метод используют все действующие в настоящее время радиохимические предприятия. Другие методы, применявшиеся в прошлом, носят название "Бутекс" (от англ. Butex - diBUTyl carbitol EXtraction) и "Редокс" (от англ. Redox - REDuction OXidation). К ним относится и первоначальный висмут-фосфатный метод, использовавшийся при создании первой американской атомной бомбы. Кроме того, в США разрабатывается новый метод, известный как "пиропереработка", представляющий собой электролитический метод разделения ОЯТ на три потока (см. статью на стр. 13).

Составлено Анитой Сет



ПЕРЕРАБОТКА ОЯТ В РОССИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Анатолий Дьяков

Переработка ОЯТ (отработанное ядерное топливо) энергетических реакторов была начата в России с вводом в действие завода РТ-1 на ПО "Маяк" в 1977 г.. Завод осуществляет переработку ОЯТ энергетических реакторов ВВЭР-440, БН-600, реакторов транспортных ядерно-энергетических установок, ледоколов и подводных лодок, а также исследовательских реакторов. Проектная мощность завода 400 т ОЯТ в год. Выделяемый при переработке уран направляется на изготовление топлива реакторов РБМК-1000 (2,4-процентное обогащение). Выделяемый плутоний в форме оксида направляется на склад, в настоящее время его количество превышает 30 т.

Основная часть жидких отходов низкого и среднего уровня активности, выделение которых сопровождает процесс переработки, направляется в хранилища, бассейны и водоемы без какой-либо обработки. Высокоактивные отходы накапливались в хранилищах. Общее их количество, накопленных на ПО "Маяк" как за счет переработки топлива промышленных так и энергетических реакторов и хранящихся в настоящее время в виде растворов (11200 куб.м, 258 млн.кюри) и пульпа (7650 куб.м, 131 млн.кюри), достигает 389 млн.кюри.

С вводом в эксплуатацию в феврале 1991 г. печи ЭП-500 началось отверждение жидких высокоактивных отходов методом остекловывания. Печь имеет производительность 500 л раствора в час и производит фосфатное стекло. Хотя ее проектный срок эксплуатации 3 года, печь продолжает работать, однако ее производительность в последнее время существенно уменьшилась. За время работы печи остеклено 280 млн.кюри высокоактивных отходов. В настоящее время ведется строительство еще двух печей аналогичной конструкции, при достаточном финансировании одна из новых печей могла бы быть введена в строй через год. Заканчивается строительство плавителя с "холодным" тиглем¹ (1), производительность которого 100 л раствора в час. Данный плавитель будет производить боросиликатное стекло. Предполагается, что с вводом его в эксплуатацию можно будет приступить к остекловыванию высокорадиоактивных отходов с высоким содержанием кремния, молибдена, железа, серы и других компонентов, т.е. тех отходов, которые раньше не поддавались остекловыванию на печи ЭП-500 и накапливались в металлических емкостях.

В 1995 г. было переработано около 200 т ОЯТ, в 1996 г. объем переработки ожидается на уровне 150 т. Контракты на переработку завод имел как с зарубежными, так и с отечественными АЭС. Среди поставщиков ОЯТ - два финских реактора ВВЭР-400 (около 25 т/г), четыре венгерских реакторов (около 50 т/г), Кольская

АЭС и два реактора Нововоронежской АЭС. Перерабатывается также некоторое количество ОЯТ украинских реакторов. В последнее время между заводом и финскими станциями возникли разногласия. В связи с ростом в России цен на энергоносители и электроэнергию, ПО "Маяк" хотел бы увеличить контрактную цену на переработку (по неофициальной информации, она сегодня находится на уровне 400-500 долл. США за 1 кг урана) и довести ее до 800 долл. за 1 кг. Однако финская сторона не согласна идти на повышение контрактной цены и поэтому продолжение контракта в настоящее время находится под вопросом. Дополнительные трудности для продолжения контрактов создает также новое российское законодательство, которое требует возвращения выделенных при переработке и остеклованных радиоактивных отходов в страну поставщика ОЯТ. Финны заявили, что они откажутся от переработки, если российская сторона будет настаивать на возвращении отходов. Аналогичная ситуация сложилась и с Венгрией, которая также не намерена принимать отходы. Поэтому продолжение и подтверждение контрактов требует от ПО "Маяк" ежегодного получения от российских федеральных регулирующих органов специального разрешения на проход эшелонов с ОЯТ из-за рубежа.

Ранее предполагалось, что ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 будет перерабатываться на заводе РТ-2 в Железногорске. Этот завод находится на начальной стадии строительства и в течение ряда последних лет работы по его сооружению остановлены из-за отсутствия финансирования. Рассчитывать на внутренние источники финансирования сегодня нереально, а привлечь средства зарубежных инвесторов вряд ли удастся из-за сложившегося в настоящее время за рубежом негативного отношения к переработке ОЯТ. По-видимому, с учетом понимания этих обстоятельств, комбинат "Маяк" рассматривает возможность организации переработки топлива реакторов ВВЭР-1000 на РТ-1. Однако переработка ОЯТ ВВЭР-1000 также требует значительных инвестиций для создания начального цикла переработки, способного обращаться с топливными сборками этих реакторов.

Анатолий Дьяков - профессор физики Московского физико-технического института. В 1990 г. совместно с профессором Фрэнком фон Хиппелем он основал Центр по контролю над Вооружениями, энергетике и окружающей среде в Московском физико-техническом институте. В настоящее время проф. Дьяков исследует проблемы, связанные с утилизацией оружейного плутония, транспарентностью и необратимостью процесса сокращений ядерных вооружений.

¹ Тигль, в котором слой твердого стекла отделяет охлажденную стенку от расплава стекла.

Продолжение со стр.1

МНЕНИЕ

Это стало поводом для ликования в российском министерстве атомной энергии и промышленности (Минатоме) и, одновременно, источником глубокого разочарования среди экологов и всех тех, кто озабочен распространением ядерного оружия.

Наблюдающаяся в Америке поддержка репроцессинга вызвала столь значительную обеспокоенность и удивление в России, прежде всего, потому, что это укрепляет позиции представителей Минатома, также поддерживающих этот метод. Минатом использует большое количество призванных ввести в заблуждение аргументов для защиты российской программы репроцессинга. Согласно его утверждениям, репроцессинг представляет собой наилучший метод обращения с отработанным ядерным топливом.

Это неправда, поскольку репроцессинг основывается на устаревшей технологии PUREX, при использовании которой вырабатывается значительное количество трудно поддающихся утилизации жидких радиоактивных отходов. В настоящее время широко известно, что имеются альтернативные методы, и многие государства приняли решения об их разработке.

Минатом также утверждает, что репроцессинг экономически эффективен, поскольку он предусматривает повторное извлечение плутония, который можно использовать в качестве реакторного топлива, включая и топливо нового поколения реакторов-размножителей. Однако в настоящее время гораздо дешевле и безопаснее использовать в качестве реакторного топлива обогащенный уран. Более того, после окончания "холодной войны" имеется избыток урана - его столь много, что часть имеющихся запасов Россия направляет в Соединенные Штаты. При необходимости, этот уран можно использовать и в качестве топлива для реакторов российских АЭС.

Возобновление строительства нового радиохимического предприятия РТ-2, начатого в начале 80-х гг. и впоследствии приостановленного из-за протестов общественности и недостатка средств, невозможно без иностранных инвестиций. Путем предоставления выгодных условий представители Минатома рассчитывают привлечь клиентов для переработки топлива на РТ-2. Но даже несмотря на всю привлекательность этих условий, Германия и Швейцария приняли решение не направлять отработанное топливо своих реакторов на РТ-2 и не инвестировать средства в его строительство.

Технология реакторов-размножителей чрезвычайно дорогостояща, а ее безопасность пока не доказана. Репроцессинг оказывается еще более дорогим, если промышленность уделяет должное внимание экологическим и медицинским требованиям. Кроме того, выделяемый в результате репроцессинга уран загрязнен изотопами урана-232 и 236, что ограничивает его потенциальное вторичное использование. Это делает концепцию замкнутого топливного цикла весьма уязвимой. Экономические преимущества плутония не компенсируют связанных с ним экологических проблем и рисков ядерного распространения.

В середине 70-х гг. правительство США отвергло идею коммерческого использования репроцессинга, главным образом, из соображений, связанных с ядерным распространением. Сейчас министерство энергетики заявляет, что хотя оно и собирается продолжать репроцессинг

в небольших объемах в экологических целях, оно не будет перерабатывать отработанное топливо как энергетических, так и военных реакторов. С тех пор, как это было заявлено в период пребывания у власти администрации Буша и вновь подтверждено администрацией Клинтона, данное обязательство так и не было по политическим соображениям реализовано на практике.

В условиях подлинно рыночной экономики репроцессинг неконкурентоспособен. Тем не менее, его пытаются протолкнуть не только в России, которая делает свои первые рыночные шаги, но и в Соединенных Штатах, часто упоминаемых в качестве модели рыночной экономики. Очевидно, что в обеих странах инициативы в области репроцессинга исходят от экспертов, унаследовавших одинаковый менталитет "холодной войны", поскольку отсутствуют какие-либо логически обоснованные технические и экономические причины для поддержки этого метода. Те, кто рассчитывают получить работу или политическую поддержку в Томске, Красноярске и Челябинске, опираются на ту же самую ненужную и опасную технологию, которая способствует сохранению государственных рабочих мест в Южной Каролине и Айдахо.

Обе наших страны несут оставшееся со временем "холодной войны" тяжелое бремя экологических и медицинских проблем. Мы верим, что наши ученые, работая вместе, сумеют найти по-настоящему безопасные и экологичные технологии обращения с отработанным топливом. Если политики в наших странах действительно хотят помочь людям, финансовые средства и ресурсы следует направить именно на эти цели, а не на поддержку технологии PUREX.

Ядерные эксперты утверждают, что в настоящее время отсутствует реальная техническая альтернатива репроцессингу в качестве метода обращения с теми типами отработанного топлива, которые обладают тонкой оболочкой, и, поэтому, не подлежат безопасному хранению. Теперь представители Минатома и эксперты имеют возможность подтвердить эти свои утверждения ссылкой на возобновление эксплуатации радиохимического предприятия в Саванна-Ривер-Сайт. Мы уверены, что ядерные инженеры как в Соединенных Штатах, так и в России достаточно умны, чтобы разработать альтернативный репроцессингу метод обращения с отработанным топливом, который давал бы меньше отходов, был бы дешевле и не приводил бы к накоплению ненужных и опасных запасов расщепляющихся материалов.

Человечество затрачивает огромные материальные, финансовые и интеллектуальные ресурсы на укрепление режима ядерного нераспространения. Но даже Договор о нераспространении ядерного оружия не может гарантировать того, что какие-либо государства не присоединятся к существующему клубу пяти ядерных держав. Репроцессинг, как технология выделения плутония, который может быть использован и при создании оружия, представляет собой постоянное искушение для правительства, стремящихся к приобретению ядерного статуса.

Репроцессинг должен быть отвергнут Россией и Соединенными Штатами даже по единственной причине: это послужило бы полезным сигналом для других стран, ожидающих от нас технического руководства. Последуют ли все остальные государства мира примеру, продемонстрированному нашими правительствами?

Лидия Попова - директор Центра ядерной экологии и энергетической политики Социально-экологического союза в Москве.

Репроцессинг не заслуживает поддержки ни в России, ни в США хотя бы потому, что отказ от него стал бы важным сигналом для других стран



ИНДИЯ

Франс Беркхаут
Сурендря Гадекар

В течение долгого времени Индия проводила политику по созданию замкнутого топливного цикла путем переработки плутония в быстрых реакторах. Это делалось в рамках программы по разработке энергетических реакторов типа CANDU, использующих в качестве топлива природный уран. Долгосрочной целью индийской программы является производство электроэнергии на АЭС путем использования больших запасов тория-232¹. Как отмечалось в докладе 1982 г.: "На весьма ранней стадии появилось понимание того, что реакторная система должна быть способной в максимально возможной степени использовать ограниченные урановые ресурсы и вне зависимости от того, насколько хороша такая реакторная система, потенциал для производства энергии [в Индии] только из урановых ресурсов все равно не будет велик"².

В настоящее время в Индии имеется три радиохимических предприятия. Они находятся в ведении Управления атомной энергии (DAE - Department of Atomic Energy) и имеют общую проектную мощность около 230 т. Ни одно из этих предприятий не находится под гарантиями МАГАТЭ. Первое индийское радиохимическое предприятие начало функционировать в 1964 г. в Атомном исследовательском центре Бхабха (BARC - Bhabha Atomic Research Centre) в Тромбее. Оно перерабатывает топливо, поступающее с исследовательских реакторов "Сайрус" и "Дхрува". В 1973 г. предприятие в Бхабха из-за интенсивной коррозии было выведено из эксплуатации; в дальнейшем на нем было смешано оборудование и в 1982 г. оно вновь вступило в строй. По оценкам, всего на небольшом предприятии BARC было выделено около 400 кг плутония. Сообщалось, что этот плутоний использовался в индийской программе по созданию ядерного оружия³. Плутоний, содержащийся в "ядерном заряде мирного назначения", который был взорван в 1974 г. в штате Раджастан, был наработан в Бхабхе.

Второе радиохимическое предприятие, Объект по переработке топлива энергетических реакторов (PREFRE - Power Reactor Fuel Reprocessing facility), было введено

Индийское управление атомной энергии располагает тремя радиохимическими предприятиями общей проектной мощностью около 230 т; ни одно из них не находится под гарантиями МАГАТЭ

в эксплуатацию в Тарапуре в 1982 г.. Оно предназначалось для переработки топлива реакторов CANDU. Проектная мощность этого предприятия - 100 т топлива в год. Однако его реальный уровень производства был ограничен по техническим и организационным соображениям. Кроме того, Индия предпочитает избегать накопления запасов плутония. В 1995 г. произошла серьезная утечка радиоактивности на Заводе по ликвидации отходов, связанном с объектом в Тарапуре. Под напряжением обеспокоенной утечкой общественности власти были вынуждены признать, что "из-за недостаточного финансирования" оборудование, предназначенное для данного Завода, подверглось коррозии в результате нахождения на открытом воздухе.

В настоящее время в Тарапуре перерабатывается топливо, поступающее только с двух АЭС - Раджастанской и Мадрасской. Оценка общего количества топлива, переработанного на данном предприятии, крайне затруднена, поскольку индийские власти не публикуют каких-либо данных. Поэтому оценки основываются на данных о типах реакторов на упомянутых АЭС и на предположительных оценках количества отработанного топлива, поступающего оттуда в Тарапур.

Предполагается, что к концу 1995 г. в Тарапуре могло быть переработано максимум 310 т отработанного топлива с АЭС в Мадрасе и Раджастане, что позволило бы выделить не более 900 кг плутония. Согласно более реалистическим оценкам, принимая во внимание потребности в плутонии реактора на быстрых нейтронах в Каллакамме, в Тарапуре могло быть выделено порядка 300-400 кг плутония.

В марте 1996 г. вступило в эксплуатацию радиохимическое предприятие в Каллакамме (KARP - Kalpakkam Reprocessing Plant), расположенное недалеко от Мадраса в Центре атомных исследований им. Индиры Ганди. На начальном этапе это предприятие не приступало к переработке отработанного топлива. Начало такой переработки ожидалось в конце 1996 г.. Первоначально планировалось к 2000 г. довести мощности по переработке до 1000 т, однако сейчас эти планы вызывают сомнения⁴. Согласно проекту, предприятие в Каллакамме должно перерабатывать топливо с Мадрасской АЭС и имеет проектную мощность в 100 т топлива реакторов CANDU в год. Это соответствует возможностям по выделению около 350 кг плутония ежегодно.

Сурендря Гадекар издает журнал "Анумукти", посвященный вопросам безъядерной Индии. Он работает в Институте тотальной революции, расположенному в небольшом племенном поселении Ведхи, штат Гуджарат (Индия).

¹ При облучении, торий-232 трансформируется в уран-233, являющийся расщепляющимся материалом, и, следовательно, теоретически может использоваться как в тепловых, так и в быстрых реакторах. Однако до настоящего времени торий-232 не применяется в какой-либо ядерной программе в коммерческих масштабах из-за множества технических и экономических проблем, возникающих при его использовании.

² Доклад Комитета Н.Б.Прасада по Раджастанской АЭС (1982 г.).

³ См.: David Albright, Frans Berkhouwt, and William Walker, Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: Inventories, Capabilities and Policies, SIPRI/Oxford University Press, 1997, pp. 180-183.

⁴R.K. Iyengar in: Nuclear Power: Policy and Prospects ed. P.M.S.Jones (John Wiley and Sons) 1987.



СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ

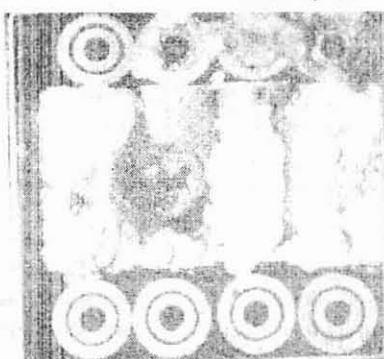
Брайан Костнер

В период второй мировой и "холодной" войн Соединенные Штаты выделили около 100 т плутония. Выделение плутония (или репроцессинг) велось, главным образом, в Хэнфорде, штат Вашингтон и в Саванна-Ривер-Сайт, штат Южная Каролина. Кроме того, в небольших масштабах репроцессинг осуществлялся в национальных лабораториях, в основном, в Лос-Аламосе, Нью-Мексико. В национальной инженерной лаборатории штата Айдахо (INEL - Idaho National Engineering Laboratory) репроцессинг проводился в целях выделения высокообогащенного урана из продуктов деления отработанного топлива военно-морских реакторов.

Все указанные объекты находятся в федеральной собственности. Единственное негосударственное радиохимическое предприятие расположено в Уэст-Вэлли, штат Нью-Йорк. Оно было закрыто в 1972 г., а выделенный там плутоний был передан федеральному правительству. Ответственность за экологическую очистку объекта совместно с федеральными властями несут власти штата Нью-Йорк. Согласно оценкам министерства энергетики США, стабилизация, хранение и мониторинг за всеми видами радиоактивных отходов и загрязнением окружающей среды, вызванными 50 годами репроцессинга в Соединенных Штатах, возможно, обойдется налогоплательщикам в 1 млрд. долл. в расчете на одну тонну произведенного плутония.

Джон Херрингтон, министр энергетики США в администрации Рейгана, публично заявил, что еще до окончания "холодной войны" Соединенные Штаты произвели избыточное количество плутония. После завершения периода конфронтации и заключения соглашений по сокращению вооружений министр энергетики в администрации Буша адмирал Джеймс Уоткинс объявил о том, что деятельность в области репроцессинга будет прекращена. Однако на практике выполнение этого обещания столкнулось со значительными трудностями политического характера. В 1996 г. действительно закрылись ворота последнего радиохимического предприятия в Хэнфорде, но репроцессинг в Саванна-Ривер-Сайт и INEL, в основном, из соображений сохранения рабочих мест, напротив, скорее набирает темпы, чем приближается к назревшему и безопасному завершению.

В Саванна-Ривер-Сайт находятся два последних радиохимических предприятия в Соединенных Штатах, функционирующих на базе разработанной несколько десятилетий назад технологии PUREX. Предполагалось, что построенные там в 50-е гг. огромные бетонные конструкции прекратят производство до конца столетия. В настоящее время, в связи с необходимостью завершить переработку находящегося на объекте облученного топлива и других ядерных материалов, оставшихся после



Проржавевшие гнезда ТВЭЛ
реактора, Бассейн по разборке
реактора, Саванна-Ривер-Сайт

"холодной войны", а также из-за задержек, вызванных опасениями относительно безопасности, дата останова заводов была перенесена на 2002 г.. Кроме того, руководство Саванна-Ривер-Сайт и местные власти предлагают продлить эксплуатацию радиохимических предприятий на 30 лет путем их использования для переработки отходов с других объектов министерства энергетики и, возможно, реакторов АЭС.

Действовавший в период "холодной войны" радиохимический завод на INEL законсервирован; возобновление его функционирования не планируется. Однако в строй введено новое меньших размеров радиохимическое предприятие, основанное на новой технологии, пока не имеющей коммерческого применения. Эта технология, часто именуемая пиро- или электропереработкой, была разработана в рамках американской программы по созданию реакторов-размножителей, реализация которой была прекращена в 1995 г. вследствие проблем технического и экономического характера, а также из-за риска ядерного распространения. Тем не менее, часть программы связанная с репроцессингом продолжается как "деятельность по обращению с отходами". Осуществляемый в INEL проект внушает особое беспокойство сторонникам ядерного нераспространения, поскольку новое радиохимическое предприятие гораздо компактнее старых заводов. Кроме того, это предприятие может иметь недостаточную систему безопасности, поскольку создается в целях обращения с отходами.

1997 г. представляет собой важный поворотный пункт в судьбе репроцессинга в Соединенных Штатах. Именно в этом году ожидается принятие ключевых решений о том, следует ли продолжать планировавшееся закрытие радиохимических предприятий или придать им новые функции. В идущих по этому поводу дебатах преувеличивают две противоположные точки зрения. Наиболее соответствующая долгосрочной политике США позиция заключается в том, что поскольку более нет военной необходимости в продолжении выделения плутония, пришло время закрыть остающиеся радиохимические мощности и приступить к внедрению более безопасных технологий в области обращения с отработанным топливом и другими ядерными материалами. Сторонники другой точки зрения предлагают федеральному правительству использовать существующую проблему обращения с отработанным топливом в качестве причины для принятия решения о расширении деятельности по репроцессингу в США в надежде, что, в конечном итоге, этот подход будет увязан с возрождением ядерной энергетики.

Брайан Костнер - директор Фонда энергетических исследований, находящегося в Колумбии, штат Южная Каролина (США).

Продолжение со стр. 6

МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Высокая стоимость предприятия в Роккашо-мура (1,88 трлн. юен или около 17 млрд. долл.) заставляет энергетические компании еще раз проанализировать стратегию обращения с отработанным топливом. Все это увеличивает вероятность того, что строительство этого предприятия не будет завершено.

К японо-европейской системе были добавлены два дополнительных элемента. Неудача с быстрыми реакторами заставила энергетические компании в начале 80-х гг. рассмотреть альтернативные пути утилизации плутония. Несмотря на малую эффективность, Бельгия, Германия, Франция, Швейцария и Япония избрали сжигание выделенного плутония в обычных тепловых реакторах в качестве альтернативы дорогостоящему и сложному методу хранения плутония. Для использования плутония в тепловых реакторах предприятия по производству смешанного оксидного МОХ-топлива были построены в Бельгии ("Дессель ПО", эксплуатация началась в 1986 г.), Франции ("Мелокс", введен в строй в 1995 г.) и Великобритании (СМП, ввод в эксплуатацию намечен на 1997 г.). Энергетическим компаниям необходимо получить лицензию для использования МОХ-топлива в реакторах. Несмотря на принципиальную техническую возможность, в некоторых странах, включая Германию и Японию, использование в реакторах плутониевого топлива было по политическим соображениям признано спорным. Препятствия, связанные с производством и использованием МОХ-топлива, остаются серьезной проблемой для японо-европейского режима репроцессинга.

Сохранение этой системы после 2005 г. будет зависеть от появления новых потребностей в услугах по переработке. Энергетические компании во все большей степени отворачиваются от репроцессинга в сторону более дешевой и связанной с меньшими проблемами политики хранения/прямого захоронения отработанного топлива. Потребности в репроцессинге, вероятнее всего, сохранятся в будущем в Великобритании (для переработки топлива реакторов Магнокс), Франции и Японии. Повсюду расширяющиеся мощности по хранению отработанного топлива становятся все более доступными. Открытым остается пока один вопрос: будут ли быстрорастущие экономики азиатских стран в большей степени зависеть от атомной энергетики. Это может создать новые рынки для репроцессинга.

Российской системе репроцессинга был нанесен серьезный удар распадом Советского Союза. В 1990-94 гг. поступления отработанного топлива на предприятие РТ-1 составляли порядка 100 т ежегодно. В 1995-96 гг. наблюдался его некоторый рост в результате подписания контрактов с финскими, венгерскими и украинскими энергетиками. Однако почти все российские клиенты челябинского предприятия переходят к политике хранения отработанного топлива, а российские АЭС не в состоянии оплачивать счета за переработку. Будущее предприятия зависит от весьма невысоких перспектив заключения новых контрактов с иностранными АЭС.

Обзор репроцессинга: 1960-95 гг.

В 1995 г. на гражданских радиохимических предприятиях было выделено 17 т плутония. Из этого

количество менее 8 т было использовано для производства МОХ-топлива, остальной материал был направлен в хранилища. Одно из долгосрочных последствий гражданского репроцессинга состоит в том, что большая часть выделенных из отработанного топлива материалов (плутоний и уран) остается в хранилищах. В хранилищах находится почти три четверти выделенного до настоящего времени плутония. Крупнейшие невоенные запасы плутония имеются в Великобритании (49 т), Франции (55 т) и России (около 30 т). В таблице 2 приведены данные (по состоянию на конец 1995 г.) о мировых запасах плутония, выделенного на гражданских радиохимических предприятиях. К тому времени на этих предприятиях было наработано 190 т плутония.

Изменение ситуации вокруг репроцессинга

Несмотря на то, что с коммерческой точки зрения будущее репроцессинга выглядит отнюдь не в розовых тонах, за последние несколько лет возник ряд противоречивых обстоятельств, заставивших энергетиков и правительства взглянуть на этот метод по-иному.

Таблица 2. Мировые запасы плутония.

Категория запасов	Количество плутония (т)
Военный плутоний	250(*)
Гражданский плутоний	
Отработанное топливо	800
Выделенный плутоний в хранилищах	141
Переработанный плутоний (в МОХ-топливе)	49
Всего гражданский плутоний	990
Всего	1240

(*) В Выпуске 1 "Энергетики и безопасности" были опубликованы более старые оценки военных запасов в 270 т (они были основаны на предположении, что российские оружейные запасы составляют 150 т, а не 130 т).

Первая из проблем связана с растущей необходимостью во многих странах наращивать мощности по хранению отработанного топлива. Эта проблема возникла в результате длительных проволочек и неопределенностей вокруг реализации программ по захоронениюadioактивных отходов. По понятым причинам, население, проживающее вблизи АЭС, не согласно с идеей о превращении реакторов в объекты по длительному хранению отработанного топлива. Кроме того, экологические организации зачастую рассматривают проблему хранилищ отработанного топлива в качестве ахиллесовой пятнышки атомной энергетики. Они полагают, что если им удастся предотвратить строительство таких хранилищ, они добьются остановки и самих реакторов. Однако в ответ на это в качестве единственного выхода из создавшегося положения энергетические компании в Германии и других странах избрали возобновление переговоров с владельцами радиохимических предприятий.

Продолжение на стр.15

РЕПРОЦЕССИНГ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

В 70-е гг. в оправдание репроцессинга стали выдвигаться экологические аргументы – после того, как аргументация стратегического характера стала ставиться под вопрос. Учитывая весьма тревожную статистику выделения радиохимическими предприятиями радиоактивных веществ (жидких и газообразных), эти новые аргументы не стали убедительными. В данной статье мы предлагаем лишь самый общий сравнительный экологический анализ репроцессинга и метода хранения/прямого захоронения отходов. В пользу репроцессинга выдвигается два основных довода:

- при репроцессинге выделяется меньшее количество отходов, и
- токсичность отходов репроцессинга меньше, чем у отработанного топлива.

Меньший объем отходов

Европейские владельцы радиохимических предприятий делают значительные капиталовложения в сокращения объемов низко- и среднерадиоактивных отходов репроцессинга. За последние 15 лет это привело к сокращению этих объемов в три раза¹. Но даже и сегодня общий объем кондиционированных и упакованных отходов репроцессинга составляет примерно 20 куб.м/т тяжелого металла, тогда как объем кондиционированного и упакованного отработанного топлива достигает лишь порядка 2 куб.м/т тяжелого металла². Хотя объем остеклованных высокорадиоактивных отходов от репроцессинга и ниже, чем объем отработанного топлива, направлению в хранилища подлежат и среднеактивные отходы, что существенно увеличивает общее количество отходов репроцессинга. КОЖЕМА и БНФЛ объявили о дальнейших сокращениях количества отходов в будущем. Однако их данные по-прежнему не учитывают низкоактивные отходы, на которые приходится до половины расходов на обращение с отходами репроцессинга и их захоронение.

Каковы преимущества меньшего количества отходов? Очевидно, что они позволяют сократить расходы на хранение и транспортировку, но их преимущества в плане обеспечения безопасности хранения менее ясны.

Конструктивные особенности и характеристики хранилища зависят от тепла, выделяемого помещенными там отходами. Несмотря на то, что не содержащие плутоний остеклованные твердые и жидкые отходы выделяют несколько меньшее количество тепла, это не оказывает воздействия на методы хранения и конструкцию хранилища. Более того, количество тепла, выделяемое в результате распада актинидов в отработанном МОХ-топливе, на порядок превышает тепловыделение в отработанном урановом топливе.

Более низкая токсичность

Занимающиеся репроцессингом компании часто ссылаются на общий индекс радиоактивности в своих аргументах о том, что извлечение плутония из высокорадиоактивных отходов в долговременном плане значительно повышает безопасность их хранения. Однако оценка уровней безопасности некоторых конструкций хранилищ, а также их геологических сред показала, что при хранении отработанного топлива, в принципе, может быть достигнута такая же степень безопасности, как и при хранении остеклованных высокорадиоактивных отходов репроцессинга. Германская концепция создания хранилища, в частности, предполагает помещение в одно и то же хранилище отработанного топлива и остеклованных высокоактивных отходов. Отработанное топливо представляет собой, как минимум, столь же хорошую матрицу для продуктов деления и актинидов, как и стекло. А новейшие исследования в области керамических форм для отходов показывают, что оно может быть даже лучше³.

Согласно оценкам уровней безопасности хранилища, в долгосрочном плане степень безопасности зависит от миграционных способностей радиоактивности. Исследования в области миграции плутония показывают, что в большинстве случаев он не проникает за пределы ближайших окрестностей хранилища. Тем самым, извлечение плутония не приведет к значительному долговременному улучшению безопасности, которая определяется, главным образом, содержанием таких нуклидов, как нептуний-237, технеций-99 и иод-129. Их количество одинаково в отработанном топливе и отходах репроцессинга.

Франс Беркхаут

Продолжение со стр. 14

Другим новшеством стало возобновление программ быстрых реакторов в целях осуществления проектов по "отделению и трансмутации". Отделение начинает выделение на перспективных радиохимических предприятиях радиоактивных материалов помимо плу-

тония и урана, представляющих собой долговременный источник заражения. Затем эти материалы предполагается трансмутировать путем облучения либо в реакторах, либо в конвертерах на базе ускорителей. Это позволило бы преобразовать их в более коротковивущие элементы, которые подлежали бы хранению

Продолжение на стр. 16

¹ Cogema, Reprocessing-Recycling: the Industrial Stakes, presentation, Bonn, May 1995.

² G. Kessler, 'Direct Disposal Versus Multiple Recycling of Plutonium', paper presented at the German RSK/Japanese NSG Meeting, Tokyo, November 1992.

³ W.Lutze and E.C.Ewing (eds), Radioactive Waste Forms for the Future, North Holland, Amsterdam, 1988.

Продолжение со стр. 15

МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

и захоронению в качестве коротко-живущих низкоактивных отходов. Реализация этих программ оправдывается необходимостью решения проблемы долгосрочного захоронения отходов, и рассматривается сторонниками репроцессинга в качестве блестящей перспективы.

Третье обстоятельство связано с ликвидацией ядерных вооружений и извлечением из боезарядов плутония и обогащенного урана. С одной стороны, это может представлять угрозу для сторонников репроцессинга. Доступность больших новых ресурсов плутония и урана способна еще более подорвать идею наращивания выделения плутония в ходе гражданского репроцессинга, особенно принимая во внимание значительный объем уже накопленных невоенных запасов. Однако возникает и два потенциальных аргумента в пользу радиохимических предприятий, поскольку они, кроме всего, являются и основными производителями MOX-топлива. В России переработка в энергетических реакторах рассматривается в качестве наиболее предпочтительного метода утилизации плутония и урана. Все более серьезно это обсуждается в США. Вариант утилизации военного урана и плутония через MOX-топливо усиливает позиции атомной энергетики путем создания коммерческой инфраструктуры и субсидирования деятельности по использованию MOX-топлива. Программы использования военного плутония при производстве MOX-топлива также могут выдаваться за «перековку мечей на орала», тем самым, повышая их привлекательность в глазах общественности.

Выводы

Мировая индустрия по переработке отработанного топлива создавалась начиная с середины 60-х гг. В настоящее время она обеспечивает потребности в обращении с отработанным топливом примерно трети имеющихся в мире реакторов. В будущем значение переработки в качестве метода утилизации отработанного топлива, скорее всего, уменьшится. Однако не стоит недооценивать способность выживания индустрии, аргументы в пользу которой подвергались эрозии в течение последних двадцати лет. Она гораздо в большей степени зависит от интересов поставщиков, чем потребителей. В конечном итоге, будущее репроцессинга будет определено в зависимости от того, будет ли достигнуто политическое соглашение по основному альтернативному пути обращения с отработанным топливом: его временному хранению и последующему прямому захоронению.

НОВАЯ КНИГА



Поступает в продажу в марте 1997 г.

**Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996;
Inventories Capabilities and Policies by David
Albright, Frans Berkhout and William Walker
SIPRI/Oxford University Press, 1997**

Представляет собой дополненный вариант
выпущенного в 1993 г издания. Является наиболее
полным и надежным источником информации по
расщепляющимся материалам.

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

Address correction requested.

 Printed on recycled paper.

