

ПОТРЕБНОСТИ РАСТУТ

ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМ ТОПЛИВОМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

ПЕТЕР Х. ДИК И MARTIN Й. КРЕЙНС

В прошлом году в мире было получено около 10 тыс. т тяжелого металла в качестве отработавшего топлива после его использования для производства электричества на атомных электростанциях. Это отработавшее топливо было помещено на хранение в специально созданные установки, где его содержали и контролировали с целью последующего изъятия для переработки или удаления в хранилища.

В предстоящие годы ожидается хранение более значительных количеств отработавшего топлива и на более длительные сроки. Вследствие этого ядерные предприятия во всем мире занимаются строительством новых хранилищ и расширением существующих, а также внедрением в практику технологий, обеспечивающих более эффективное долгосрочное хранение.

Данная статья представляет собой обзор подходов, применяемых в различных странах в области обращения с отработавшим топливом АЭС. В ней содержится также краткое описание отдельных мероприятий МАГАТЭ, осуществляемых в этой сфере.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ

Обращение с отработавшим топливом включает комплексную систему технических операций. Она начинается с выгрузки отработавших топливных сборок из энергетического реактора и заканчивается либо прямым их удалением (открытый, или "однократный", топливный цикл), либо их переработкой и окончательным удалением сопутствующих высокоактивных отходов (замкнутый топливный цикл). Прямое удаление предусматривает операции, в ходе которых отработавшее топливо помеща-

ется в хранилище, например в геологические формации, в условиях, исключающих его последующее изъятие. В процессе операций по переработке осуществляется выделение делящегося плутония и урана из отработавших материалов для повторного использования в реакторах в качестве переработанного топлива.

Первоначально концепция замкнутого топливного цикла предполагала переработку выделенного плутония и урана в реакторах на быстрых нейтронах. Однако задержки и отмены программ по ядерным реакторам на быстрых нейтронах вынудили перейти к переработке выделенных делящихся материалов в уже действующих ядерных реакторах на тепловых нейтронах. В настоящее время тепловая переработка плутония (в качестве смешанного оксидного топлива, МОХ) осуществляется в основном в Бельгии, Германии, Франции, Швейцарии и Японии. Тепловая переработка урана производится в Российской Федерации и Соединенном Королевстве и планируется в Германии.

Третьим выбором в области обращения с отработавшим топливом является отсрочка окончательного решения, предусматривающая временное хранение. Данный подход позволяет эксплуатантам осуществлять постоянный контроль за хранящимся отработавшим топливом и в дальнейшем извлекать его для прямого удаления или переработки. Большинство стран, осуществляющих ядерные программы, придерживаются данного подхода (см. таблицу на стр. 25). Выбор стратегии обращения с отработавшим топливом является сложным решением, требующим учета многих факторов, включая политические и экономические аспекты, а также проблемы

гарантий и защиты окружающей среды. Общим для большинства стран, независимо от избранной стратегии в области обращения с отработавшим топливом, является постоянная потребность в дополнительных хранилищах.

ИЗМЕНЕНИЯ ПРАКТИКИ

В начале развития ядерной энергии страны, осуществляющие замкнутый топливный цикл, обычно хранили отработавшее топливо в приреакторных бассейнах, в которых сборки размещаются под водой на стеллажах или в контейнерах, а после их перевозки — в бассейнах-хранилищах завода по переработке отработавшего топлива.

Однако нехватка мощностей для хранения на перерабатывающих заводах изменила картину. В то же время не все страны остановили свой выбор на замкнутом топливном цикле, а вместо этого предпочли хранить отработавшее топливо до принятия решения о его окончательной судьбе. В результате ядерно-энергетические компании приступили к расширению своих бассейнов-хранилищ для отработавшего топлива. Кроме того, хранилища бассейнового типа были построены как на реакторных площадках, так и за их пределами. С тех пор площадок для окончательного удаления отработавшего топлива не строили, а потребности в долгосрочном захоронении возросли. В ответ были разработаны иные технологии хранения, предусматривающие размещение отработавшего топлива в сухой газовой среде с использованием контейнеров, бункеров и

Г-н Дик — сотрудник Отдела ядерного топливного цикла и технологий обращения с отходами; г-н Крейнс — консультант данного Отдела.

стальных камер, которые обычно располагаются вне реакторной площадки (AFR).

В настоящее время в разных странах эксплуатируются или находятся в стадии строительства различные типы установок для мокрого или сухого хранения. Отработавшее топливо может надежно храниться в течение долгого времени и в некоторых случаях уже хранится свыше 30 лет.

В целом используются или планируются к использованию самые разнообразные технологии и системы. В большинстве стран приреакторные бассейны-хранилища уже или будут переоснащены стеллажами с поглотителями нейтронов высокой плотности с целью более эффективного использования имеющегося пространства хранилищ. В некоторых случаях (например, в Словении и Южной Африке) для хранения отработавшего топлива будут использоваться стеллажи сверхвысокой плотности, рассчитанные на срок службы реактора: с целью увеличения емкости хранилищ-бассейнов, построенных вне реакторных площадок, используются усовершенствованные стальные контейнеры и пеналы, обеспечивающие более компактное хранение топлива.

В 1997 г. годовые поступления отработавшего топлива из всех видов реакторов АЭС достигли примерно 10,5 тыс. т тяжелого металла. Общие объемы накопившегося в мире отработавшего топлива составили к концу 1997 г. 200 тыс. т тяжелого металла. В соответствии с имеющимися прогнозами эти объемы в 2010 г. могут превысить 340 тыс. т тяжелого металла. Примерно 130 тыс. т тяжелого металла отработавшего топлива находится в настоящее время в приреакторных или вне реакторных хранилищах в ожидании решения об их переработке или окончательном удалении (см. таблицу на стр. 26).

Количество накопленного отработавшего топлива более чем в 20 раз превосходит существующие общегодовые мощности по его переработке. Учитывая, что часть полученного в будущем

ПОДХОДЫ К ОБРАЩЕНИЮ С ОТРАБОТАВШИМ ТОПЛИВОМ В РАЗНЫХ СТРАНАХ

Страна	Отложенное решение	Прямое удаление	Переработка
Аргентина	◆		
Бельгия	◆		●
Бразилия	◆		
Болгария	◆		●
Канада		■	
Китай			●
Чешская Республика	◆	■	●
Финляндия		■	
Франция			●
Германия		■	●
Венгрия	◆		●
Индия			●
Италия	◆		●
Япония			●
Республика Корея	◆		
Литва		■	
Мексика	◆		
Нидерланды			●
Пакистан	◆		
Румыния		■	
Российская Федерация		■	●
Словакия		■	●
Словения	◆		
Южная Африка		■	
Испания		■	
Швеция		■	
Швейцария	◆		●
Соединенное Королевство			●
Украина	◆	■	●
США		■	

Примечание: Некоторые страны применяют различные подходы к разным типам топлива. Кроме того, отдельные страны, применяя один подход, проводят одновременно оценку других подходов, которые могут быть применены в будущем.

отработавшего топлива будет переработано, прогнозируемое количество тяжелого металла, предназначенного для хранения, составит к 2010 г. около 230 тыс. т. Поскольку появление первых крупномасштабных хранилищ для окончательного удаления отработавшего топлива до указанного времени не ожидается, то по всем имеющимся признакам временные хранилища и в следующем столетии останутся основным выбором на достаточно длительное время.

ЧТО ПРЕДПРИНЯТО СТРАНАМИ

В течение последних трех лет страны предприняли важные шаги по наращиванию своего потенциала эффективного

обращения с отработавшим топливом. Среди них:

■ В Канаде в 1995 и 1996 гг. были введены в строй две установки для временного сухого хранения отработавшего топлива вне реакторных площадок.

■ В Чешской Республике в январе 1997 г. была лицензирована сроком на 10 лет установка для сухого хранения в Дукованах мощностью 600 т тяжелого металла. К концу 1997 г. в нее было загружено 232 т тяжелого металла.

■ Во Франции MELOX, завод по изготовлению смешанного оксидного топлива, достиг лицензированной пропускной способности в 120 т тяжелого металла. Было также принято решение о загрузке смешанным оксидным топливом 28 реакторов, в том числе 12 реакторов,

**ЕМКОСТИ ХРАНИЛИЩ И ИНВЕНТАРНЫЕ КОЛИЧЕСТВА В НЕКОТОРЫХ СТРАНАХ
ПО СОСТОЯНИЮ НА 1997 Г.
(в тоннах тяжелого металла)**

Страна	Приреакторные мощности	Приреакторные инвентарные количества	В эксплуатации	Вне реакторные (AFR) мощности В стадии строительства	Планируемые	Инвентарные количества AFR
Бразилия	576	130				
Болгария	828	387	600			356
Канада	31 407	22 555	8 567		14 496	1 930
Китай		177		550		
Чешская Республика	480	306	600			232
Финляндия	676	204	1 047			684
Франция	11 290	5 795	14 400			9 159
Германия	4 561	2 756	7 767	585		594
Венгрия	480	357	160			54
Япония	9 920	5 800	213	3 000		169
Респ. Корея	5 251	3 072	609	812		609
Литва	2 093	1 380		352		
Румыния	940	100				
Российская Федерация	5 230	3 480	13 800	1 900	13 000	6 046
Словакия	480	150	600			523
Южная Африка	670	392				
Испания	4 390	2 000				
Швеция	1 500	730	5 000		3 000	2 703
Соединенное Королевство	3 345	1 035	11 153			7 157
Украина	3 051	1 650	2 000			1 695
США	60 700	35 300	2 164	2 000	43 000	2 164
Итого	147 868	87 756	68 680	9199	73 496	34 075

уже использующих такое топливо.

■ В Венгрии в 1997 г. введено в строй модульное сухое хранилище, в которое к концу года загружено 54 т тяжелого металла.

■ В Индии завершены необходимые для лицензирования контрольные испытания нового завода по переработке в Калпаккаме.

■ В Японии мокрое хранилище в Роккасэ Мура емкостью 3 тыс. т тяжелого металла ожидает разрешения местных органов на начало его эксплуатации. Разработана программа по использованию смешанного оксидного топлива в легководных реакторах начиная с 1999 г.

■ В Республике Корея проводится изучение возможных будущих вариантов после отказа по геологическим причинам от строительства центрального временного хранилища, выбранного ранее. В

Вольсуне построено сухое хранилище на 609 т тяжелого металла, и еще одно сухое хранилище емкостью 812 т тяжелого металла находится в стадии строительства. Кроме того, разрабатываются планы строительства экспериментальной установки для повторного использования (переработки) отработавшего топлива из легководных реакторов в тяжеловодном реакторе с водой под давлением.

■ В Российской Федерации недавно введено в строй временное мокрое хранилище отработавшего топлива на Смоленской АЭС на 2000 т тяжелого металла из реакторов типа РБМК.

■ В Швеции продолжается проектирование завода по капсуляции отработавшего топлива перед его окончательным удалением. Завершение заявки на лицензирование планируется в начале столе-

тия. Предпринимаются также шаги по расширению центрального хранилища (CLAB) и лицензированию его дополнительной емкости в 3 тыс. т тяжелого металла, планируемой к введению в строй в 2004 г.

■ В Соединенном Королевстве после консультации с общественностью регулирующими органами была выдана лицензия на эксплуатацию установки по термической переработке оксидного топлива (THORP). Заявка компании NIREX с планом на строительство установки по определению характеристик пород в Селла-филде была отклонена. Перспективные варианты находятся в стадии рассмотрения.

■ В Украине в стадии рассмотрения регулирующими органами находится установка для сухого хранения контейнерного типа на Запорожской АЭС.

■ В США на площадках атомных электростанций

введены в строй три новые установки для сухого хранения. Несколько систем сухого хранения находятся на рассмотрении Комиссии по ядерному регулированию США для использования их на реакторных и других площадках.

ГЛОБАЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И МАГАТЭ

Совместно с консультативной группой экспертов из стран — членов МАГАТЭ Агентство проводит регулярные обзоры состояния и перспектив обращения с отработавшим топливом энергетических реакторов, занимается изучением важнейших изменений и тенденций и определением технических областей, требующих более интенсивных совместных усилий.

Один аспект в деятельности Агентства отражает заинтересованность стран в более широком использовании технологий дистанционного обращения с отработавшими топливными элементами. Такие технологии применяются при выгрузке отработавшего топлива из реактора, а также при работах, связанных с переработкой и окончательной упаковкой в случае прямого удаления отработавшего топлива.

Большой интерес проявляют также к технологии и аспектам безопасности регионального хранилища отработавшего топлива. Некоторые страны с маломасштабными ядерными программами сталкиваются с проблемами хранения и удаления своего отработавшего топлива. С экономической точки зрения они не видят особого смысла в строительстве своих собственных хранилищ. Эксперты, работающие под эгидой МАГАТЭ, приступили к сбору и оценке информации о региональном хранилище отработавшего топлива — замысел, который в принципе представляется осуществимым.

МАГАТЭ оказывает помощь странам Центральной и Восточной Европы в эксплуатации основных типов реакторов (ВВЭР и РБМК), построенных в этих странах. Данная работа проводится в рамках внебюджетной программы по безопа-

сности атомных электростанций с реакторами ВВЭР и РБМК, начатой в 1995 г. и финансируемой правительством Японии. В октябре 1997 г. эксперты приняли участие в совещании технического комитета и в семинаре по вопросам ввода в эксплуатацию установок для сухого хранения. Они подвергли тщательному обсуждению основные этапы, связанные с вводом установок в эксплуатацию; ресурсные требования; процедуры лицензирования; цели радиологической защиты; основы безопасности; нормы и практические методы. Наряду с другими мероприятиями МАГАТЭ планирует провести в 1998 г. семинар по проблеме безопасности долгосрочного хранения отработавшего топлива, уделив особое внимание отработавшему топливу с реакторов ВВЭР и РБМК.

Как часть этой внебюджетной программы некоторые страны завершили исследования поведения отработавшего топлива с помощью компьютерных кодов и моделирования. Научно-исследовательский институт в области атомной энергии (KFKI) Венгрии, например, произвел с использованием кода COBRA-SFS термодинамические расчеты поведения отработавшего топлива в условиях долгосрочного сухого хранения. Описание модели и руководство были документированы, и подготовлены соответствующие справочники. Положительным результатом является то, что данный код в настоящее время доступен всем государствам — членам МАГАТЭ, эксплуатирующим атомные электростанции с реакторами ВВЭР, в целях повышения безопасности хранения отработавшего топлива.

Одной из областей, привлекающих повышенный интерес стран, является понятие "кредита" (т. е. вероятной степени) выгорания ("burnup credit") в его применении к лицензированию систем обращения с отработавшим топливом. Данный термин характеризует снижение реактивности отработавшего ядерного топлива, которое происходит в результате изменения его состава в процессе облучения

внутри активной зоны; данные определяются путем расчета физики топлива. Для систем хранения и транспортировки отработавшего топлива использование кредита выгорания сулит повышение эффективности. Это позволит, например, обеспечить более компактную упаковку отработавшего топлива и тем самым повысить емкость хранилища. Его можно учитывать также с целью увеличить емкость транспортных контейнеров и таким образом сократить число партий отправляемого груза. Существуют и другие виды применения, относящиеся к транспортировке, хранению, удалению и переработке топлива. Хотя основным побудительным мотивом в данном случае является экономический фактор, существуют также и другие преимущества — в плане охраны здоровья и безопасности населения, а также защиты окружающей среды. На совещании экспертов, созванном недавно МАГАТЭ, обсудили данную проблему, и Агентство опубликует технический документ, охватывающий состояние национальной практики и применение понятия кредита выгорания в системах по обращению с отработавшим топливом.

Кроме того, МАГАТЭ дополнительно опубликовало три документа по безопасности обращения с отработавшим топливом атомных электростанций. Они включают руководство по безопасному хранению отработавшего топлива энергетических реакторов, руководство по эксплуатации этих установок и документ о подготовке отчетов по анализу безопасности хранения отработавшего топлива.

Эти и другие виды деятельности направлены на оказание помощи странам в эффективном решении возникающих технических проблем в сфере обращения с отработавшим топливом. В настоящее время мы располагаем почти сорокалетним опытом долгосрочного хранения отработавшего топлива атомных электростанций. Однако в будущем предполагается намного более продолжительные периоды хранения, а это потребует дальнейших усилий по совершенствованию технологий и методов хранения. □