

Снятие с эксплуатации ядерных установок Министерства энергетики США

Эдвард Дж. Делани

„Вам будет интересно узнать, что итальянский мореход только что высадился на новой земле“.

Это — закодированное телефонное послание Карла Комптона Джеймсу Конанту в тот день, когда Энрико Ферми получил первую самоподдерживающуюся цепную ядерную реакцию в графитовом реакторе в Стэгг Филд, Чикаго, 2 декабря 1942 г.

В последующие 25 лет было построено большое количество установок для проведения экспериментов и демонстраций, таких как экспериментальные реакторы, энергетические демонстрационные реакторы, установки по разделению радиоизотопов и их получению, а также экспериментальные установки с ядерными двигателями. Кроме того, были построены установки для получения делящихся материалов и материалов, используемых в реакциях синтеза, а также для добычи и переработки урановой руды, обогащения урана, переработки урана, производства плутония и трития.

Радиоактивные отходы от всех видов этой деятельности были захоронены, в основном, в приповерхностных хранилищах, за исключением некоторых среднеактивных отходов, которые были закачаны в глубокие геологические формации в полости, созданные гидроразрывом.

Начало деятельности по снятию установок с эксплуатации

В 60-е годы Комиссия по атомной энергии (КАЭ) США пришла к выводу о необходимости снятия с эксплуатации установок с возможностью их использования для другой ядерной деятельности или сохранения без риска населению, или эффективного дезактивирования с тем, чтобы их можно было использовать для неограниченного применения (т.е. без забот об оставшейся радиоактивности).

КАЭ начала разрабатывать методы для дезактивации некоторых установок для повторного использования или неограниченного использования, а также методы безопасного хранения установок, если дезактивация не является предпочтительным вариантом. Список установок, снятых с эксплуатации в течение этого первоначального периода, приво-

дится в таблице. Были разработаны специальные методы для: 1) безопасного хранения в течение длительного времени с умеренным наблюдением и обслуживанием (SAFSTOR или 1-й этап); 2) безопасного хранения в течение многих сотен лет с очень незначительным наблюдением и обслуживанием (ENTOMB или 2-й этап); 3) дезактивации и демонтирования установок с тем, чтобы можно было освободить площадку для неограниченного использования (DECON или 3-й этап).

Значительные усилия по разработке технологии выразились в практическом завершении этих ранних проектов по снятию с эксплуатации. Технология, разработанная в рамках проектов КАЭ, также как и некоторых других важных проектов в других странах, обеспечивала основу для современных работ по снятию с эксплуатации.

Текущие и планируемые программы

В 1977 г. Управление по энергетическим исследованиям и разработкам ERDA, которое сменило КАЭ, составило список неиспользуемых установок, загрязненных радиоактивностью, и разработало программу по снятию их с эксплуатации. Около 500 установок было включено в Программу обращения с лишними установками (SFMP). Выполнение Программы продолжается Министерством энергетики США (DOE), к которому перешли функции ERDA. 348 установок, числящихся в SFMP, разделены на категории: „гражданские“ (114 установок) и „оборонные“ (234 установки).

Цели Программы SFMP:

- Безопасное обращение с лишними установками и их захоронение в соответствии с установленным приоритетом
- Максимальное повторное использование установок
- Оптимальное использование самой совершенной техники по снятию установок с эксплуатации
- Передача технологии по снятию с эксплуатации в американскую промышленность и сотрудничество с международными и другими национальными программами по дезактивации

Безопасное обращение с ненужными установками Министерства энергетики сопровождается удалением топлива, радиоактивных жидкостей и других материалов, в которых возможны утечки радиоак-

Г-н Делани — руководитель Одела по проектам снятия с эксплуатации ядерных установок и площадок, бюро ядерной энергии Министерства энергетики США, Вашингтон, шт. Колумбия.



Часть реактора SRE в Калифорнии отправляется на захоронение. SRE был демонтирован в 1982 г. (Предоставлено: Rockwell International)

тивности или освобождение энергии, проведение необходимого обслуживания для обеспечения целостности установки, непрерывный контроль установки и окружающей среды. Приоритеты в захоронении ненужных установок устанавливаются путем рассмотрения их характеристик и присвоения категории, обычно в соответствии со следующей иерархией: юридические и контрактные требования Министерства энергетики, риск для здоровья из-за задержки в захоронении, экологическое влияние немедленных действий по сравнению с задержкой, будущие планы по использованию площадки, экономичность проведения программы (например, продолжение работ, связанных со снятием с эксплуатации, на месте), другие особые факторы, как, например, возможность повторного использования установки.

Самая современная технология снятия с эксплуатации обычно адекватна соответствующим требованиям. Используются методы и оборудование, имеющиеся в промышленности и лабораториях DOE. Эти методы и оборудование адаптируются из других областей, таких как операции по техническому обслуживанию АЭС и обращению с опасными материалами. Только незначительное количество исследований и разработок проводится на сиюминутной основе („ad-hoc”) для определенного проекта. Передача технологии в промышленность сопровождается заключением контрактов на проведение операций по снятию с эксплуатации, путем подготовки и опубликования технических отчетов по проектам, а также организации технических совещаний с представителями промышленности и участия в них. Сотрудничество на национальном и международном уровнях сопровождается участием в международных мероприятиях, связанных со снятием с эксплуатации, а также путем обмена

информацией по национальным проектам, обычно в рамках двусторонних соглашений.

На 348 установок Программы SFMP были составлены 74 проекта по планированию и выполнению работ. Подробности некоторых из главных проектов представлены в прилагаемых таблицах. Общее планирование для SFMP включает завершение проектов в течение первой декады следующего века при общей стоимости, превышающей 1,5 млрд. долл.

Проект АЭС Шиппингпорт

АЭС Шиппингпорт с реакторами с водой под давлением мощностью 72 МВт (эл.) вступила в строй в 1957 г. и была остановлена в 1982 г. Она произвела более 7,2 ТВт электроэнергии. Министерство энергетики приготовилось начать демонтаж ядерных частей АЭС в сентябре 1985 г. и закончить работы в январе 1990 г. Общая стоимость проекта оценена в 98,3 млн. долл., около 19 млн. долл. было истрачено в 1985 г.

Производитель работ по снятию с эксплуатации АЭС, компания Джeneral Электрик, приняла площадку от эксплуатационной компании в сентябре 1984 г. после удаления с нее всего ядерного топлива. В течение последнего года производитель работ по снятию с эксплуатации осуществлял наблюдение и техническое обслуживание станции, подбор и обучение персонала, подготовку контрактов для субподрядчиков, разработку детальных планов и процедур и модификацию площадки перед началом демонтажа.

Работа началась с удаления всего асбеста с трубопроводов и оборудования. В течение следующего года начнется работа по удалению трубопроводов,

Снятие с эксплуатации

Некоторый опыт США по снятию установок с эксплуатации

Название установки и местонахождение	Тип установки	Мощность	Тип D/D	Дата	Опыт
<i>Реакторы</i>					
Каролина/Вирджиния Канальный реактор (CVTR) (Парр, Южная Каролина)	HWR	65 МВт (тепл.)	1-й этап	1968	Разработаны основные процедуры по 1-му этапу, периодическое наблюдение
Пасфиндер (Сиукс Фоллс, Южная Дакота)	BWR с ядерным перегревом	190 МВт (тепл.)	1-й этап с переделкой для другого использования	1972	Изоляция парогенератора и замена ядерного реактора на станцию с ископаемым топливом, непрерывное наблюдение
Сакстон (Сакстон, Пенсильвания)	PWR	23,5 МВт (тепл.)	1-й этап	1973	Дистанционные системы для уменьшения рабочей силы
Ферми-1 (Монро Каунти, Мичиган)	FBR	200 МВт (тепл.)	1-й этап	1975	Обращение с натрием для 1-го этапа
Пич Боттом 1 (Йорк Каунти, Пенсильвания)	GCR	115 МВт (тепл.)	1-й этап	1978	Обращение с графитом и топливом и захоронение
Хэллэм (Хэллэм, Небраска)	Реактор с графитовым замедлителем, натриевым охлаждением	256 МВт (тепл.)	2-й этап	1968	Разработаны основные процедуры по 2-му этапу без постоянного наблюдения
Реактор Пиква (Пиква, Огайо)	Реактор с органическим охлаждением и замедлителем	45 МВт (тепл.)	2-й этап	1970	Захоронение при переделке здания реактора в склад. Переделка площадки в территорию выставки, захоронение корпуса реактора в песок, без постоянного наблюдения
Кипящий реактор с перегревом (BONUS) (Ринкон, Пуэрто-Рико)	BWR	50 МВт (тепл.)	2-й этап	1970	Захоронение корпуса реактора в бетон, дезактивация систем, переделка площадки в территорию выставки, без постоянного наблюдения
Реактор Элк Ривер (ERR) (Элк Ривер, Миннесота)	BWR (перегрев на ископаемом топливе)	58 МВт (тепл.)	3-й этап	1974	Дистанционная резка корпуса реактора и внутренних частей, разрушение взрывом бетона, наблюдение и освобождение площадки для неограниченного использования
<i>Установки топливного цикла</i>					
Рэдокс (Хэнфорд, Вашингтон)	Установка для переработки топлива	Промышленный масштаб	1-й этап	1967	Программа по извлечению плутония при использовании различных потоков, дренаж и осушка воздуха, внешний обмыв оборудования, камер и столов, наблюдение за входом

Примечание. HWR — тяжеловодный реактор.
BWR — реактор с кипящей водой.
PWR — реактор с водой под давлением.

GCR — газоохлаждаемый реактор с графитовым замедлителем.
D/D — дезактивация и снятие с эксплуатации.

дезактивации и удалению оборудования, компонентов первичного контура, а также энергетических систем и систем управления. В 1987 году начнется удаление бетона и конструкций. Удаление защитных камер начнется в 1988 г., а корпус реактора будет удален в 1989 г.

В детали проекта входят:

- Удаление корпуса реактора и окружающей защитной оболочки как единого целого общим весом 770 тонн вместе с бетонной защитой и подъемными устройствами. Корпус реактора будет отправлен на барже из Шиппингпорта в Хэнфорд, штат Вашингтон.

Снятие с эксплуатации

Некоторые проекты по снятию установок с эксплуатации в рамках Программы SFMP*

Название установки и местонахождение	Тип установки	Этап снятия с эксплуата- ции	Год заверше- ния работ
<i>Реакторы</i>			
Экспериментальный Лосс-Аламосский реактор на расплавленном плутонии, Нью-Мексико	Реактор на расплавленном плутонии	Демонтаж 3-й этап	1980
Экспериментальный реактор с органическим замедлителем, Огайо	Реактор с органическим замедлителем	Демонтаж 3-й этап	1980
Специальные исследовательские реакторы II, III, IV, Айдахо	Исследовательские (для исследования безопасности) реакторы	Демонтаж 3-й этап	1980
Экспериментальный реактор с натриевым охлаждением, Калифорния	Натриево-графитовый реактор	Демонтаж 3-й этап	1982
<i>Установки ядерного топливного цикла</i>			
Площадка завода по дроблению руды Монтиселло, Ута	Завод по дроблению руды	Демонтаж (закрытая площадка)	1979
Лаборатория усовершенствованного топлива, Калифорния	Изготовление плутониевого топлива	Демонтаж 3-й этап	1982
Установка по производству плутониевого топлива, Пенсильвания	Изготовление плутониевого топлива	Демонтаж 3-й этап	1982
Здание 360, ANL, Иллинойс	Изготовление плутониевого топлива	Демонтаж 3-й этап	1982

* SFMP – Программа по обращению с лишними установками.

тон, для захоронения в приповерхностных слоях земли

- Отправка четырех парогенераторов на барже в неупакованном виде в Хэнфорд. Для транспортировки некоторых других радиоактивных компонентов также будет использована баржа

- Первичный контур не будет дезактивироваться. Только некоторые материалы будут дезактивированы перед захоронением в качестве обычных отходов или скрапа

- Подземные бетонные конструкции размером менее трех футов (0,9 м) удаляться не будут. Площадка будет засыпана камнями и землей и выровнена до отметки

Лабораторный проект Маунд

Изготовление изотопных тепловых источников с плутонием-238 проводилось в нескольких зданиях лаборатории Маунд в Майамисбург, штат Огайо, с конца 60-х до конца 70-х годов. Эти источники использовались в качестве источников электроэнергии во многих космических исследованиях.

DOE решило снять с эксплуатации эти установки, т.к. они не соответствовали современным требованиям, предъявляемым к установкам по производству плутония. Программа была начата фирмой Монсано Ресерч Корпорейшен, владельцем установок, в 1978 г. и должна быть завершена в сентябре 1988 г. Стоимость программы – 69 млн. долл.

Были удалены установки по производству плутония и обработке отходов, расположенные в трех зданиях и состоящие из 1100 футов (335,3 м) перчаточных боксов, 900 футов (274,3 м) конвейера, а также трубопроводов и других сооружений. Комнаты дезактивируются до уровня, достаточного для работы персонала без защитной одежды.

Кроме того, удаляется 2600 футов (792,5 м) двойных подземных трубопроводов для жидких отходов, а также радиоактивная почва вокруг них. Приблизительно 30 000 Ки плутония было удалено в виде отходов и скрапа. Эти отходы были отосланы в Национальную инженерную лабораторию в Айдахо для хранения.

В результате этой работы был накоплен ценный опыт в области методов для контроля облучения рабочих, контроля радиоактивного загрязнения, дезактивации, удаления оборудования и упаковки отходов.

Проект Уэлдон Спринг

С 1955 по 1957 гг. КАЭ сооружала большой химический завод в Уэлдон Спринг, штат Миссури, для преобразования уранового концентрата в промежуточные ураносодержащие химические вещества, а затем в металлический уран. Концентраты ториевой руды также преобразовывались в другие химические формы. Отходы этих процессов были захоронены в четырех открытых траншеях. Завод занимает площадь около 70 га, а траншеи для захоронения – более 21 га.

Некоторые из главных проектов Программы по обращению с лишними установками

Проект/местонахождение	Тип установки	План снятия с эксплуатации*	Сроки осуществления	Стоимость**
Лаборатория Маунд Усовершенствованные ядерные и космические энергетические установ- ки (Майамисбург, Огайо)	Установки по получе- нию плутония-238, транспортированию и обработке отходов	Удаление оборудования по производству плутония, дезактивация сооружений для использования в других целях, удаление установок по транспортированию и об- работке отходов, отправка всех отходов от работ по снятию с эксплуатации в На- циональную инженерную лабораторию в Айдахо	1978–1988	69
Хранилище Ниагара Фоллс (Левистон, Нью-Йорк)	Хранилище для отхо- дов урана и отходов, содержащих радий	Дезактивация территории вокруг храни- лища, очистка и отверждение остатков и отходов в приповерхностном храни- лище	1981–1986 (1-й этап) 1995–1996 (2-й этап)	51
Площадка завода по дроблению руды Мон- тиселло (Монтиселло, Ута)	Площадка хранилища хвостов от переработ- ки урановой руды	Дезактивация территории вокруг храни- лища, модификация дренажных систем, захоронение хвостов на площадке	1987–1994	35
АЭС Шиппингпорт (Шиппингпорт, Пен- сильвания)	Реактор с водой под давлением мощностью 72 МВт (эл.)	Демонтаж частей реактора АЭС, отпра- вка корпуса реактора и главных компо- нентов в Хэнфорд, Вашингтон, для захо- ронения в приповерхностных слоях земли	1985–1990	98
Проект по ремонту площадки Уэлдон Спринг (Уэлдон Спринг, Миссури)	Установка по конвер- сии урана и тория в металлическую форму	Дезактивация территории около завода, включая карьер, демонтаж большого за- вода по производству урана, захоронение отходов на площадке	1987–1996	357
Экспериментальный реактор с кипящей водой (Аргонн, Иллинойс)	Реактор с кипящей во- дой мощностью 100 МВт (тепл.)	Дезактивация и удаление всех радиоактив- ных материалов из защитной оболочки с целью неограниченного использования в других целях	1987–1995	22
Исследовательский тяжеловодный реактор (Саванна-Ривер, Южная Каролина)	Реактор с тяжелой во- дой в качестве замед- лителя и с урановым топливом	Демонтаж реактора и приповерхностное захоронение частей и отходов	1988–1993	15
Экспериментальный гомогенный реактор (Ок-Ридж, Теннесси)	Легководный реактор с урановым раствором	Демонтаж реактора и приповерхностное захоронение частей и отходов	1989–1997	25
Экспериментальный реактор с соляным расплавом (Ок-Ридж, Теннесси)	Реактор с топливом из урана-233 во фто- ристых солях	Переработка топливных солей в стабиль- ную форму, захоронение стабилизиро- ванного топлива, демонтаж реактора и захоронение отходов	1992–2001	68

* Для каждого проекта должно быть завершено исследование окружающей среды.

** В млн. долл. США.

Во время эксплуатации завода здания, оборудо-
вание, прилегающая территория, канализационная и
дренажные системы загрязнены ураном, торием и
их продуктами деления. Кроме того, в расположен-
ный поблизости карьер сбрасывались радиоактив-
ный скрап и камни.

DOE разработало проект для очистки карьера,
территории вокруг химического завода и самого
завода. Завод должен быть дезактивирован и демон-
тирован. Установлено, что объем радиоактивных
отходов в результате этих работ будет превышать
600 000 м³. Загрязненная вода объемом 80 млн. гал-
лонов (около 302 млн. л) должна быть очищена и
после этого сброшена в окружающую среду. Наме-
чено начало проекта на 1987 г., завершение — на
1996 г. при стоимости 357 млн. долл. США.

Ценный опыт

Итак, в результате исследований, разработок
и промышленной деятельности в области ядерной
энергии, проводимых правительственными пред-
приятиями США, появились сотни установок с радио-
активным загрязнением. Снятие их с эксплуатации
окажется очень дорогим. DOE имеет обширную
программу по поддержанию этих установок в бе-
зопасном состоянии и снятию их с эксплуатации,
обеспечивающую долговременную защиту населе-
ния и окружающей среды. В результате выполнения
этой программы извлекается ценный опыт, кото-
рый, как ожидается, будет использован при снятии
с эксплуатации коммерческих ядерных установок.