

# Вывод из эксплуатации ядерных объектов

## Ориентация на будущее с оглядкой на прошлое

Патрик О'Салливан

Ожидается, что в течение следующих 10–20 лет количество ядерных объектов, требующих вывода из эксплуатации, значительно возрастет. Однозначной связи между продолжительностью эксплуатации объекта и сроком его постоянного останова не существует: на решение о выводе из эксплуатации могут влиять различные факторы, в том числе политического и экономического характера. Сроки могут зависеть также от вопросов технического обслуживания, затрат на переоснащение и конъюнктуры рынка электроэнергии (см. стр. 8 и 9). При этом на уровне государственной политики все чаще отдается предпочтение стратегии немедленного демонтажа в соответствии с принципами устойчивости, чтобы бремя, связанное с выводом из эксплуатации и обращением с отходами, не перекладывалось на будущее поколение. Немалое внимание также уделяется потенциалу повторного использования площадок, где размещались ядерные объекты, для строительства новых ядерных объектов или для других целей.

### Сроки и бюджет

Вывод из эксплуатации крупного ядерного объекта — сложное мероприятие, которое обычно требует значительных затрат времени и средств. Например, стоимость вывода из эксплуатации ядерного энергетического реактора, включая сопутствующие расходы на обращение с отходами, обычно составляет от 500 млн до 2 млрд долл. США, при этом вывод из эксплуатации газоохлаждаемых реакторов с графитовым замедлителем обходится значительно дороже, чем реакторов с водой под давлением или кипящих реакторов, из-за их гораздо большего размера и сложности конструкции. Обычно процесс вывода из эксплуатации занимает от 15 до 20 лет, хотя этот срок может варьироваться. Стоимость вывода из эксплуатации такого крупного объекта топливного цикла, как установка по переработке отработавшего топлива, обычно составляет около 4 млрд долл. США, а сроки вывода из эксплуатации подобных объектов могут превышать 30 лет. Вывод из эксплуатации исследовательского реактора с тепловой мощностью 10 мегаватт может стоить более 20 млн долл. США и занимать от 5 до 10 лет, хотя затраты



зависят от размера реактора, его назначения и истории эксплуатации. Однако успешные примеры показывают, что существует потенциал для более эффективного по времени и менее затратного процесса вывода из эксплуатации.

### Основные вызовы для отрасли вывода из эксплуатации

Ожидаемое увеличение числа случаев перевода ядерных объектов в состояние полного останова до 2050 года означает, что потребуются значительные ресурсы — как кадровые, так и финансовые — для реализации программ по их выводу из эксплуатации, некоторые из которых не будут завершены до конца этого столетия. Что касается коммерческих объектов, то финансирование на цели вывода из эксплуатации обычно резервируется во время эксплуатации. Однако вывод из эксплуатации большого числа объектов финансируется прямо или косвенно из государственных средств. Сроки осуществления подобных планов в таких случаях зависят от наличия или отсутствия достаточного финансирования. Для реализации программ по выводу из эксплуатации в будущем также потребуются много специалистов, обладающих высокой квалификацией. Популяризация среди молодежи работы в области вывода из эксплуатации и обращения с радиоактивными отходами — одна из наиболее важных задач, стоящих перед отраслью в настоящее время (см. стр. 30).

### Переработка и повторное использование отходов

В результате вывода из эксплуатации образуется большое количество материалов и отходов, большинство из которых не подверглись радиоактивному загрязнению. Предпринимаются усилия для того, чтобы значительная часть этих незагрязненных отходов, включая металлы, бетонные обломки и грунт, перерабатывалась или повторно использовалась в соответствии с принципами циклической экономики (см. стр. 28). В некоторых случаях щебень от снесенных строений может быть использован для заполнения пустот ниже уровня земли. Также рассматривается вопрос о более широком использовании вторичной переработки металлолома, в том числе для повторного использования в ядерной промышленности.

Большая часть загрязненного радиацией материала (обычно около 5% от общего количества материала) имеет очень низкий уровень радиоактивности и подходит для захоронения в приповерхностных хранилищах. Небольшая часть загрязненного материала (менее 5% от общего объема образовавшегося материала) не может быть освобождена от регулирующего контроля и не подходит для приповерхностного захоронения из-за высоких уровней активности и присутствия высокоактивных или долгоживущих радионуклидов; этот материал в итоге будет захоронен в подземных хранилищах (см. стр. 20,21, 22 и 23).



## Удовлетворение будущих потребностей

Учитывая масштабы будущих потребностей в сфере вывода из эксплуатации и потенциал новых и перспективных технологий для повышения эффективности вывода из эксплуатации, вполне вероятно, что в ближайшем будущем произойдут значительные изменения в плане осуществления проектов, как только подобные технологии широко распространятся и будет доказана их экономическая эффективность. В число таких перемен входят применение цифровых методов в целях планирования и оптимизации проектов, более широкое использование дистанционно управляемых инструментов, включая БПЛА и робототехнику, для дробления различных сооружений объекта, погрузочно-разгрузочных работ, измерений и обеззараживания, а также более широкая автоматизация деятельности по обращению с отходами и использование искусственного интеллекта (см. стр. 12).

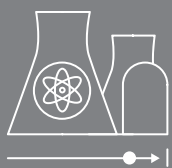
Роль системы поставок имеет решающее значение для обеспечения максимально эффективной и результативной реализации будущих проектов. Уже есть свидетельства того, что организации, входящие в систему поставок, наращивают потенциал для предоставления более широкого спектра услуг по выводу из эксплуатации в таких областях, как исследования и разработка новых технологий, выполнение инженерно-проектных работ, демонтаж и обращение с радиоактивными отходами. Новым явлением в сфере вывода из эксплуатации атомных электростанций стало формирование консорциумов, объединяющих специализированные компании для комплексной реализации проектов по выводу из эксплуатации в пределах утвержденной сметы, которые следуют согласованным подходам и принимают на себя все связанные с проектом риски (см. стр. 24).

## Что такое вывод из эксплуатации ядерных объектов?

В ядерной энергетике под «выводом из эксплуатации» понимаются все действия по окончательному останову, дезактивации, демонтажу и освобождению от регулирующего контроля ядерных объектов. Вывод из эксплуатации не может считаться завершенным, пока радиоактивные и другие опасные материалы не будут удалены с площадки, а сооружения и участки земли, которые ранее использовались в составе ядерных объектов, не будут подготовлены для использования в других целях. Наконец, для завершения процесса вывода из эксплуатации должны быть проведены радиологические обследования, показывающие, что площадка более не представляет опасности для людей и окружающей среды.



## глобальный вывод из эксплуатации в цифрах



# 420+

ядерных энергетических реакторов в эксплуатации по всему миру

В настоящее время в мире эксплуатируется около 420 ядерных энергетических реакторов, и срок эксплуатации большинства из них подходит к концу.



# 1/2

будет остановлена к 2050 году

К 2050 году может быть окончательно остановлено до половины реакторов из эксплуатируемого в настоящее время парка, соответственно, их нужно будет вывести из эксплуатации.



# ≈ 200

сняты с эксплуатации

Более двухсот ядерных энергетических реакторов уже сняты с эксплуатации, из них двадцать один реактор полностью выведен из эксплуатации.

# 222

исследовательских реактора в 53 странах

# 353

установки топливного цикла в 40 странах

вероятно будут окончательно остановлены

Кроме того, высока вероятность того, что в течение этого времени будет окончательно остановлено значительное число эксплуатируемых в настоящее время исследовательских реакторов (222 в 53 странах) и установок топливного цикла (353 в 40 странах).

# ≈ 450

исследовательских реакторов

# 150+

установок топливного цикла

были полностью выведены из эксплуатации

Около 450 исследовательских реакторов и более 150 установок топливного цикла уже полностью выведены из эксплуатации.

С начала этого века был накоплен значительный опыт вывода из эксплуатации, особенно в странах, которые приступили к реализации своих ядерно-энергетических программ в середине XX века, таких как Германия, Италия, Российская Федерация, Соединенное Королевство, Соединенные Штаты Америки, Франция и Япония. Другие страны, включая Болгарию, Испанию, Канаду, Литву, Словакию и Украину, также имеют опыт в этой области, а в ближайшие 30 лет можно ожидать много программ в Бельгии, Индии, Китае, Республике Корея, Пакистане и Швеции.