

# Учет требований по выводу из эксплуатации при проектировании

## Как при проектировании усовершенствованных реакторов учитываются требования по выводу их эксплуатации

Джоанн Лю

Планирование действий по окончании срока службы объекта на его начальном этапе может быть не особенно интересным или приоритетным вопросом. Однако, когда речь идет о жизненном цикле ядерной установки, важность завершающего этапа ее срока службы настолько велика, что побуждает проектировщиков, поставщиков и регулирующие органы решать вопросы вывода из эксплуатации заблаговременно. Такой упреждающий подход, известный как «учет требований по выводу из эксплуатации при проектировании», опирается на передовую практику и накопленный опыт и реализует концепцию «учет соответствующих требований на этапе проектирования», которая также применяется в сфере ядерной и физической безопасности и гарантий. Когда требования по выводу из эксплуатации учитываются с самого начала, уже на этапе проектирования можно внедрять решения, которые сделают вывод из эксплуатации более безопасным, эффективным и экономически выгодным.

«Принимая во внимание вопросы вывода из эксплуатации на стадии проектирования ядерной установки, мы можем оптимизировать заключительный (и обязательный) этап жизненного цикла реактора — вывод из эксплуатации», — говорит Гелена Мразова, специалист МАГАТЭ по технологиям вывода из эксплуатации. При проектировании первых поколений атомных электростанций (АЭС) упор делался на краткосрочные эксплуатационные характеристики, а выводу из эксплуатации уделялось мало внимания. Например, в проектах некоторых графитовых ядерных реакторов, построенных во Франции в 1970-х годах, вообще не было предусмотрено, как они будут демонтироваться, и сегодня их демонтаж представляет серьезную проблему.

«Существуют объекты высотой более 60 метров, диаметром 30 метров и с бетонными стенами толщиной более 5 метров, при этом в активной зоне реактора находятся тонны графита. Демонтаж этих реакторов сильно затруднен: при их проектировании вопросы вывода из эксплуатации вообще не рассматривались. Французская электроэнергетическая компания ЭДФ («Электрисите де Франс») недавно открыла Опытно-демонстрационный центр по выводу из эксплуатации графитовых реакторов (который стал также центром сотрудничества МАГАТЭ) для тестирования, совершенствования и оптимизации инновационных инструментов и технологий дистанционного управления на полномасштабных макетах

и цифровых трехмерных моделях с целью проверки осуществимости различных сценариев вывода из эксплуатации и оптимизации вывода из эксплуатации этих реакторов», — сообщила г-жа Мразова.

### Большие ожидания и возможности

Концепция учета требований по выводу из эксплуатации на этапе проектирования направлена на повышение качества планирования последовательности работ по выводу из эксплуатации, снижение риска облучения персонала и сокращение объема радиоактивных отходов, что позволит снизить нагрузку на хранилища отходов и снять часть проблем с будущими поколениями. «Эта концепция охватывает не только конструктивные решения, но и организацию рабочих процессов по планированию и осуществлению вывода из эксплуатации», — говорит Марсель Дево, директор по вопросам регулирования компании «Продиджи клин энерджи», которая разрабатывает морские и наземные передвижные АЭС. Ранее г-н Дево руководил программой рассмотрения проектов поставщиков в Комиссии Канады по ядерной безопасности (КЯБК). — Для успешного вывода из эксплуатации необходима определенность в отношении механизмов финансирования и сфер ответственности».

В мире растет интерес к малым модульным реакторам (ММР), которые представляют собой разновидность усовершенствованного ядерного реактора с ограниченной мощностью, обычно до 300 МВт (эл.) на блок. «Разработчики следующего поколения АЭС, включая ММР, имеют прекрасную возможность уже на этапе проектирования и развертывания во многом решить социальные проблемы, связанные с окончанием срока службы ядерной установки, ускорив при этом вывод из эксплуатации и снизив нагрузку на будущие поколения, связанную с отходами», — убежден г-н Дево.

Принципы учета требований по выводу из эксплуатации на этапе проектирования еще не получили повсеместного распространения, но Канада входит в число стран, которые предприняли шаги в этом перспективном направлении. При рассмотрении проектов реакторов, представляемых поставщиками, КЯБК анализирует, в какой мере требования по выводу из эксплуатации учитываются на этапе проектирования, опираясь при этом на опыт, задокументированный МАГАТЭ и Агентством по ядерной

энергии Организации экономического сотрудничества и развития. «Будущие владельцы и операторы установок в Канаде все чаще требуют от поставщиков пройти процесс рассмотрения проектов в КЯБК и представить четкий план по устранению выявленных недостатков. В отрасли есть понимание того, что вопросы окончания срока службы являются приоритетными в процессах лицензирования и экологической оценки», — считает г-н Дево.

## Вывод из эксплуатации ММР

В мире существует более 80 проектов и концепций ММР, находящихся на разных стадиях разработки. Поскольку ММР различаются по размеру, материалам и технологиям, подходы к выводу из эксплуатации этих передовых реакторов также будут различаться. «Выбор процесса вывода установки из эксплуатации будет зависеть от ее конструктивных особенностей, ее доступности и компактности, а также от планов и практики страны в области обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами», — отмечает г-жа Мразова.

Модульная конструкция ММР и различные модели их развертывания могут привести к полному пересмотру традиционной практики вывода из эксплуатации. Некоторые ММР малой мощности (микрореакторы) собираются на заводе и перевозятся на площадку в собранном виде. В конце срока службы модуль может быть возвращен на завод-изготовитель для перегрузки топлива или отправлен на объект по выводу из эксплуатации. «Такой подход позволит сократить расходы и объем работ, проводимых в месте расположения электростанции, повысить уровень ядерной и радиационной безопасности, а также будет способствовать более благожелательному отношению населения к развертыванию ММР», — полагает г-жа Мразова. — Существует также потенциал для стандартизации некоторых видов работ по выводу из эксплуатации, таких как дезактивация и демонтаж оборудования». Однако такой подход оставляет нерешенными некоторые задачи, такие как разработка специализированных инструментов для демонтажа и дистанционно управляемого погрузочно-разгрузочного оборудования.

Информация об использованных материалах, в частности о типах стали и стандартах для ее производителей, включая требования по низкому содержанию примесей



**Многие ММР спроектированы достаточно компактными, чтобы их можно было перевозить автомобильным транспортом или в грузовых контейнерах.**

(Фото: Окриджская национальная лаборатория Министерства энергетики США)

для сведения к минимуму активации, помогает правильно обращаться с отходами, образовавшимися в результате вывода из эксплуатации. Применяя концепцию учета требований по выводу из эксплуатации на этапе проектирования, можно заранее тщательно продумать состав материалов, ограничить содержание примесей и, соответственно, снизить расходы на демонтаж в конце срока службы.

«Общее правило для вывода из эксплуатации ядерных установок, включая ММР, заключается в том, что конструкция должна быть “удобной для вывода из эксплуатации”, что подчеркивает ценность ранних этапов, — говорит г-жа Мразова. — Особенности ММР, такие как их модульная конструкция и используемые материалы, должны сделать процесс их вывода из эксплуатации более эффективным и менее дорогостоящим, а также снизить по всему миру мощность ежедневной дозы облучения персонала, который будет заниматься их выводом из эксплуатации».

МАГАТЭ готовит к публикации в 2024 году документ, посвященный аспектам проектирования ММР с учетом требований по выводу из эксплуатации.