

Операции по демонтажу в активной зоне исследовательского реактора (Пегас во Франции). Снятие с эксплуатации реактора было доведено до 3-го этапа в 1978 г. (Предоставлено: КАЗ Франции)

На установке Элк Ривер в США рабочий использует обычную горелку для срезания втулок регулирующих стержней перед извлечением нижней крышки несущего давления корпуса реактора. Установка демонтировалась в период с 1971 по 1974 годы. (Предоставлено: Министерством энергетики США)





Накопление опыта: международные перспективы

Обзор работ по снятию с эксплуатации и роль МАГАТЭ в международном сотрудничестве

М.А. Ферадей

Окончательный вывод станции из эксплуатации – процесс, обычно называемый снятием с эксплуатации – представляет собой обычную ситуацию в промышленности и часто представляется в виде операции, использующей огромный разрушающий шар и кран. Станции и здания могут вырабатывать свой ресурс, устаревать, или их обслуживание может стать слишком дорогим. Много проще их сломать или разобрать. Но при этом возникают проблемы очистки, надзора и приспособления площадки для другого, не обязательно промышленного использования. Возможны варианты.

В ядерной промышленности в будущем деятельность по снятию с эксплуатации станет еще более важной. После десятилетий эксплуатации многие установки должны быть заменены, и будет решаться их судьба. Для некоторых установок выбор уже сделан, и работы проводятся.

При планировании и проведении будущих работ накопленный опыт по снятию с эксплуатации ядерных и других промышленных установок будет особенно ценен с точки зрения безопасной и эффективной остановки ядерных реакторов. Будут также новые методы, оборудование и процедуры, которые в настоящее время изучаются, испытываются или демонстрируются в специфических условиях на площадках ядерных установок. В разных областях еще остаются проблемы, требующие решения.

Следующая ниже серия статей предлагает обзор проводимой в этой области деятельности, выделяя некоторые направления.

Из множества обозримых потенциальных проблем большой интерес с международной точки зрения представляют дезактивация и снятие с эксплуатации ядерных установок. Например, более 100 из имеющихся в мире 270 исследовательских и испытательных реакторов были в эксплуатации более 20 лет. Полезная эксплуатация некоторых из них вскоре закончится. В настоящее время также снимаются с эксплуатации более старые атомные электростанции, такие как Гундреминген-А в ФРГ, Уиндскейл (WAGR) в Великобритании и Шиппингпорт в США.

Г-н Ферадей является сотрудником Отдела ядерного топливного цикла МАГАТЭ.
Художник: В. Калабис

По оценкам, к 2010 году в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) можно было бы снимать с эксплуатации реакторы общей мощностью 50 ГВт (эл.). К 2030 году можно было бы снимать еще реакторы мощностью 330 ГВт (эл.).

Кроме того, множество других установок, как относящихся, так и не относящихся к ядерному топливному циклу, нуждаются в настоящее время в обновлении или снятии с эксплуатации. Только в США требуют снятия с эксплуатации свыше 50 площадок, ранее используемых для переработки и хранения рудниковых отходов, и 500 других установок, ставших лишними. Установки ядерного топливного цикла включают предприятия по изготов-

лению, конверсии и переработке топлива, горячие камеры, лаборатории и хранилища. К установкам, не связанным с ядерным топливным циклом, относятся установки госпиталей, лабораторий и радиофармацевтических предприятий, в которых применяются радиоизотопы.

Серьезные технические проблемы отсутствуют

За последние 35 лет был накоплен значительный опыт и разработаны методы по снятию с эксплуатации и восстановлению многих типов ядерных установок. Хотя пока еще не осуществлен полный демонтаж крупного энергетического реактора, среди специалистов существует практически общее мнение, что независимо от последовательности этапов, нет серьезных технических проблем, которые не

позволили бы, пользуясь современными методами, безопасно снять с эксплуатации любую ядерную установку. Концептуальные исследования и проекты подтверждают такую точку зрения.

Существует также общее мнение, что стоимость снятия ядерных установок с эксплуатации и захоронения отходов будет составлять лишь небольшую долю в общей стоимости электроэнергии для потребителя.

Хотя был достигнут некоторый прогресс в разработке технологии и методов снятия с эксплуатации, требуется проведение дополнительных работ для улучшения оборудования и методов, снижения стоимости и уменьшения облучения до разумно достижимого низкого уровня с учетом экономических и социальных условий. Такие исследования должны обеспечить разработку методов, требующихся для осуществления основных этапов программы снятия с эксплуатации.

Техническая литература

Техническая информация по различным аспектам дезактивации и снятия с эксплуатации ядерных установок появляется в многочисленных документах, отражающих результаты совместной работы государств-членов МАГАТЭ, доложенные на различных форумах. К ним относятся следующие документы, подготовленные и опубликованные Агентством*

- *Снятие с эксплуатации ядерных установок*, IAEA-TECDOC-179 (1975).
- *Снятие с эксплуатации ядерных установок*, IAEA-TECDOC-205 (1977).
- *Безопасность атомных электростанций — эксплуатация, ввод в эксплуатацию и снятие с эксплуатации: Свод положений*, серия изданий МАГАТЭ по безопасности № 50-C-0 (1978).
- *Снятие с эксплуатации ядерных установок*, труды международного симпозиума, организованного совместно АЯЭ/ОЭСР и МАГАТЭ (1979).
- *Руководство по дезактивации поверхностей*, серия изданий МАГАТЭ по безопасности № 48 (1979).
- *Факторы, связанные со снятием с эксплуатации наземных атомных электростанций*, серия изданий МАГАТЭ по безопасности № 52 (1980).
- *Снятие с эксплуатации действующих атомных электростанций*, IAEA-TECDOC-248 (1981).
- *Снятие с эксплуатации ядерных установок: дезактивация, демонтаж и обращение с отходами*, технический отчет МАГАТЭ, серия № 230 (1983).
- *Дезактивация ядерных установок для получения разрешения на их эксплуатацию, инспекцию, обслуживание, модернизацию или снятие с эксплуатации*, технический отчет МАГАТЭ, серия № 249 (1985).
- *Методы и технология снятия с эксплуатации ядерных установок*, серия технических отчетов МАГАТЭ (в печати).
- *Безопасность при снятии с эксплуатации исследовательских реакторов*, серия изданий МАГАТЭ по безопасности (в печати).

* См. раздел Кеер Abreast (Будь в курсе) относительно порядка заказа информации. Документы категории TECDOC доступны только в виде микрофишей.

Многоэтапный процесс

Снятие с эксплуатации такой важной ядерной установки, как крупный энергетический реактор, является чрезвычайно сложным многоэтапным процессом, требующим хорошего планирования, соответствующего оборудования, хранилищ и установок для захоронения, а также хорошо подготовленного персонала.

После принятия решения о снятии установки с эксплуатации и завершения предварительных этапов по социально-политическим и юридическим аспектам остаются в упрощенном виде следующие этапы снятия с эксплуатации:

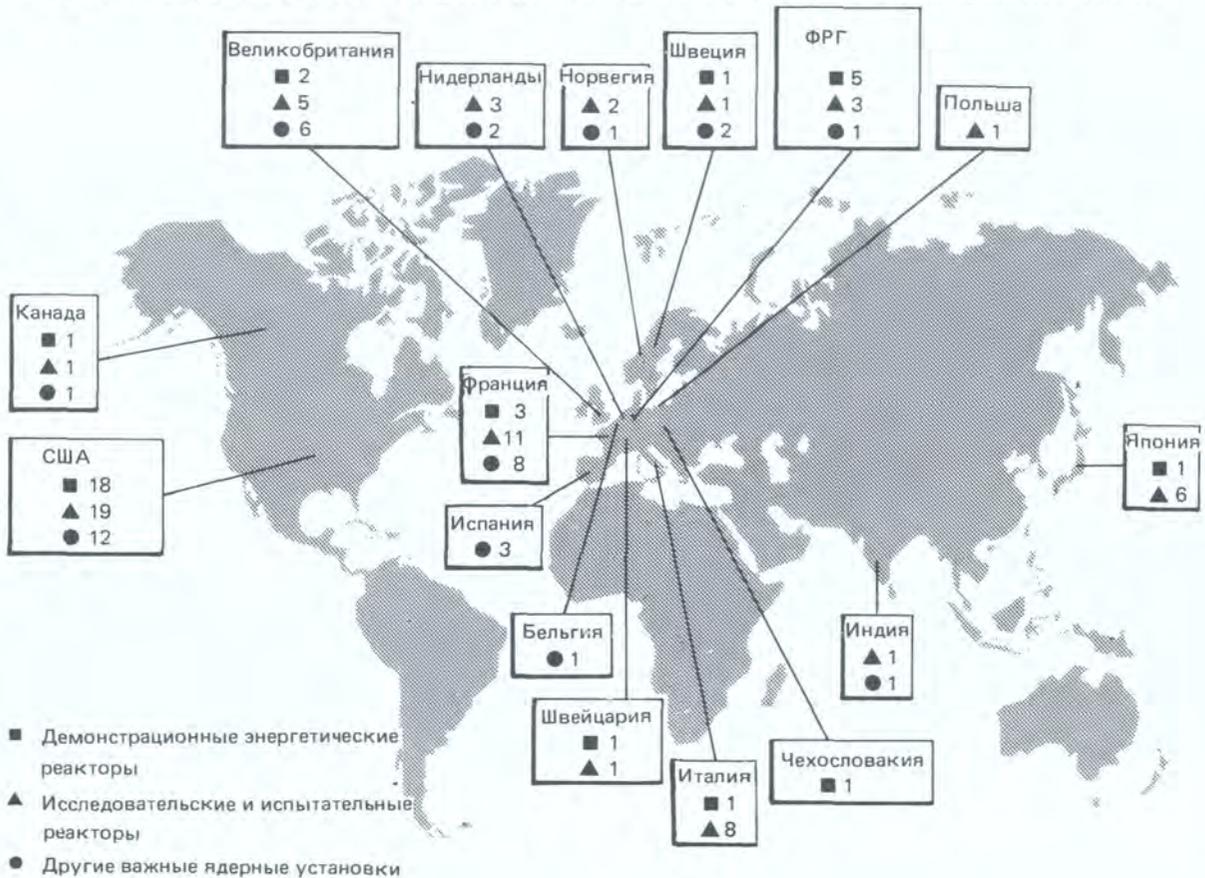
- расчет остаточного тепловыделения в установке;
- подготовка детальных планов снятия с эксплуатации, финансирования, обеспечения безопасности и организации работ;
- получение окончательного одобрения от регулирующего органа;
- дезактивация установки;
- демонтаж установки;
- определение характеристик отходов, деление их на пригодные для повторного использования и подлежащие захоронению в хранилищах или в земле;
- обработка, отверждение и упаковка отходов;
- транспортирование отходов в хранилища;
- очистка площадки до уровня, позволяющего ее свободное использование;
- захоронение отходов на площадках с учетом их уровня активности;
- подготовка рекомендаций разработчикам новых установок.

Важность национальной стратегии

Для обеспечения возможности снятия с эксплуатации ядерных установок безопасным и эффектив-

Проекты снятия с эксплуатации по странам мира

За прошедшие 35 лет был накоплен значительный опыт по восстановлению и снятию с эксплуатации многих типов ядерных установок. В настоящее время ряд установок снимается с эксплуатации, а другие будут сниматься с эксплуатации в ближайшее время. Всего в перечне МАГАТЭ по завершенным, планируемым или осуществляемым проектам по снятию с эксплуатации числится примерно 134 ядерные установки в 16 странах. Подробная классификация ядерных установок по типу и местоположению с указанием этапа снятия с эксплуатации приводится в техническом отчете МАГАТЭ *Методы и технология снятия с эксплуатации ядерных установок* (в печати).



ным способом с оптимальным расходом средств каждой стране следует выработать национальную стратегию с целью обеспечения решения основных проблем снятия с эксплуатации по скоординированным планам и способам, отвечающим национальным требованиям. Такая стратегия обеспечит наличие технологии и методов для осуществления каждого технического этапа. Например, должны быть обеспечены хранилища или установки для захоронения, в противном случае снятие с эксплуатации не может идти далее третьего этапа из приведенных выше.

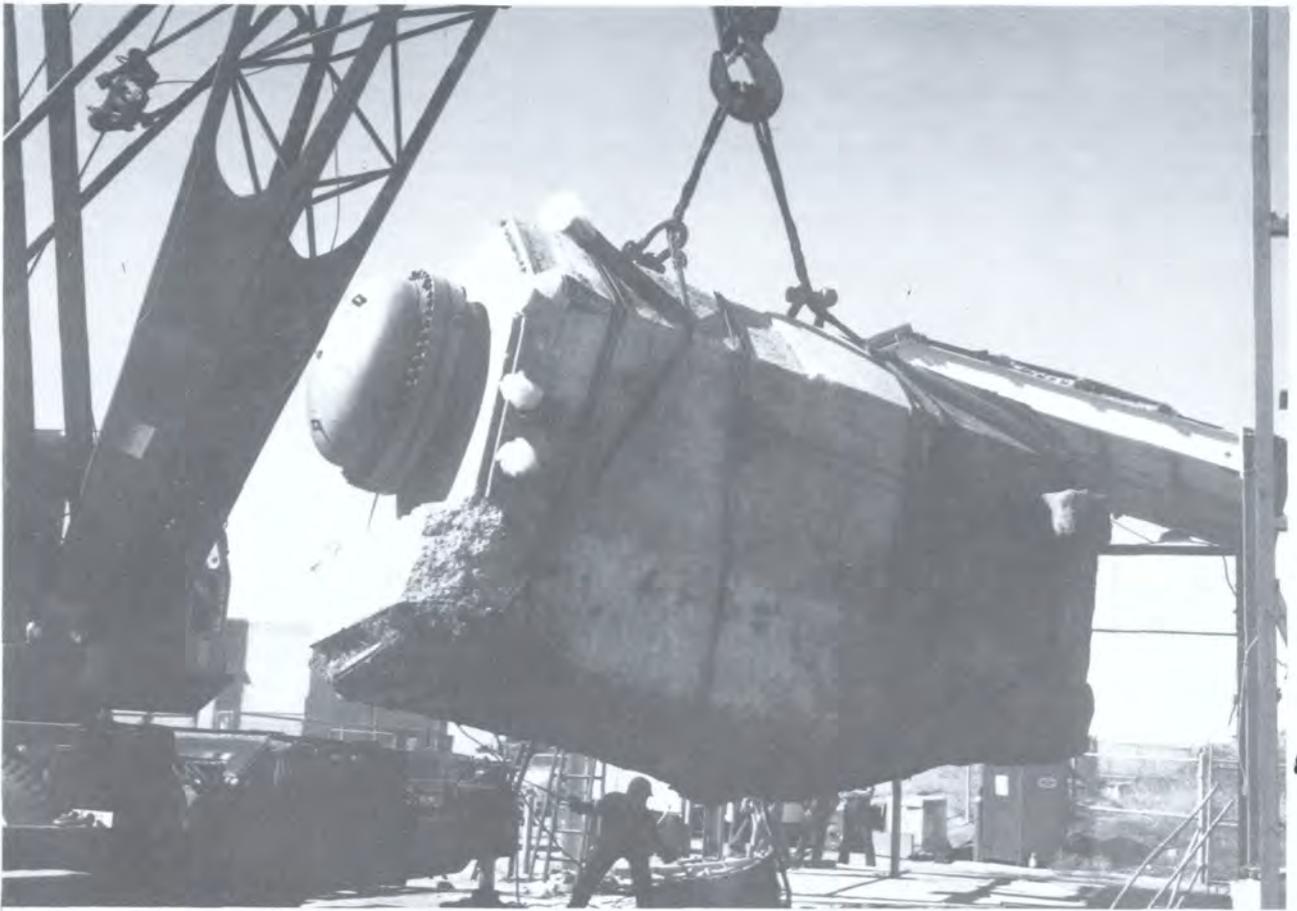
Хотя типы ядерных установок и образующиеся от этих установок отходы достаточно разнообразны, планирование работ, а также многие методы, используемые для выше приведенных технических этапов, достаточно универсальны и применимы для различных типов установок.

Странам, не имеющим хорошо проработанных программ снятия с эксплуатации и соответствующего оборудования, может быть оказана помощь международными организациями, например, МАГАТЭ или другими странами, преуспевшими в этой области.

Программа МАГАТЭ по снятию с эксплуатации

С момента первого включения в 1973 году в программы МАГАТЭ вопроса о снятии с эксплуатации были выпущены различные документы Агентства, отражающие потребности государств-членов в этой области (смотри перечень, приведенный в рамке). В этих документах сосредоточены результаты работы различных технических комитетов, консультативных групп и международных симпозиумов по различным аспектам снятия с эксплуатации и дезактивации. Документы, выпущенные ранее Агентством по этому вопросу, были хорошо восприняты техническим миром и являются ценным источником информации для государств-членов, особенно для развивающихся стран, начинающих деятельность по снятию с эксплуатации.

В соответствии с возросшим международным интересом к снятию с эксплуатации и с потребностями государств-членов деятельность МАГАТЭ в этой области в последние годы активизировалась. Было решено, что и в будущем эта деятельность будет постепенно расширяться. В результате интенсивного изучения программы и потребностей госу-



Корпус реактора с технологической защитой, удаляемой перед отправкой на захоронение
(Предоставлено: Роквелл Интернейшнл)

Снятие с эксплуатации — цели и этапы

В ядерной индустрии „снятие с эксплуатации“ означает деятельность, предпринимаемую в конце срока полезной службы установки для вывода ее из эксплуатации способом, обеспечивающим достаточную защиту здоровья и безопасность осуществляющих снятие с эксплуатации рабочих, населения и окружающей среды. Эта деятельность может варьироваться от простого закрытия установки (с минимальным удалением радиоактивного материала и с продолжением надзора и обслуживания) до полного удаления всей остаточной радиоактивности ниже уровней, ограничивающих неконтролируемое использование площадки или установки. Конечной целью всех видов деятельности по снятию с эксплуатации является очистка установок и площадок таким образом, чтобы в конце концов их можно было использовать без каких-либо ограничений.

Этапы снятия с эксплуатации

Применяемый здесь термин „этап“ означает ряд условий для снимаемой с эксплуатации установки. Не предполагается непрерывная поэтапная процедура и не требуется осуществление всех трех этапов, описанных ниже. Например, 3-й этап может проводиться непосредственно после 2-го этапа или спустя сотню лет в зависимости от принятой стратегии, или эксплуатирующая организация могла бы непосредственно приступить к 3-му этапу, минуя другие этапы.

Обычно выделяются следующие три этапа.

- **1-й этап.** Первый изолирующий барьер сохраняется таким, каким он был при эксплуатации, но люки для механизмов обязательно герметизируются. Защитная оболочка и атмосфера в ней поддерживаются в состоянии, соответствующем мере опасности условий в помещении. Проводятся наблюдения, контроль и инспекция для обеспечения поддержания станции в хороших условиях.

- **2-й этап.** Первый барьер на пути распространения радиоактивного загрязнения сокращается до минимума путем удаления легко демонтируемых частей. Герметичность барьера восстанавливается техническими средствами, а биологическая защита в случае необходимости наращивается таким образом, чтобы полностью охватывать этот барьер. После дезактивации защитная оболочка может быть переделана или удалена, если она больше не требуется для радиологической безопасности. Может быть разрешен доступ к зданию установки. Нерадиоактивные здания на площадке могут использоваться для других целей. Объем надзора и инспекции может быть сокращен, но проверку отдельных мест следует продолжать.

- **3-й этап.** Удаляются все материалы, оборудование и части станции, еще обладающие значительной радиоактивностью. Станция и площадка передаются под использование без каких-либо ограничений. В дальнейшем не требуется проведения инспекций и контроля.

Факторы, подлежащие учету

При выборе соответствующих этапов снятия с эксплуатации необходимо учитывать большое число важных факторов регламентационного, технического характера, связанных с безопасностью и воздействием на окружающую среду, а также социального характера. К таким факторам относятся национальная стратегия, наличие достаточных средств, площадей для хранения или захоронения, соответствующих методов дезактивации и оборудования для демонтажа, а также хорошо подготовленного персонала. Другими факторами являются состояние зданий, планы владения или использованию площадки станции, наличие других подходящих площадок для ядерных установок, социальные вопросы и вопросы охраны окружающей среды, а также потенциальная опасность для рабочих и населения.

дарств-членов на основе комплексного изучения всех технических и юридических этапов, связанных со снятием с эксплуатации ядерных установок, была разработана долгосрочная программа. Полученные в результате этой работы основные данные позволяют государствам-членам безопасно, своевременно и экономически эффективно снимать свои ядерные установки с эксплуатации, а Агентству быстро откликаться на запросы об оказании помощи.

Задачей программы Агентства по снятию с эксплуатации является оказание государствам-членам помощи в разработке технологии, требующейся для снятия с эксплуатации их ядерных установок. В частности, производятся накопление, оценка и распространение информации о новейших достижениях по техническим, регламентационным и экономическим аспектам снятия с эксплуатации; предоставляется техническая помощь и консультации государствам-членам в деле развертывания соответствующих программ и в планировании, и осуществлении их деятельности по снятию с эксплуатации; а также осуществляется сотрудничество в разработке наставлений, сводов правил по безопасности и руководств по данному вопросу.

База данных по снятию с эксплуатации

Разрабатываемая обобщающая база данных будет охватывать все технические и регламентационные аспекты дезактивации и снятия с эксплуатации.

В более раннем документе* были приведены общие принципы и факторы, которые нужно учитывать для безопасного и упорядоченного снятия с эксплуатации ядерных реакторов наземного размещения. В этом отчете обсуждаются вопросы планирования, управления, обеспечения качества, а также критерии для снятия из-под надзора, необходимые для успешного осуществления проекта по снятию с эксплуатации. В более позднем документе приводится информация по важным для снятия с эксплуатации техническим вопросам, а также коротко рассматриваются имеющиеся методы дезактивации и демонтажа ядерных установок и выделяются те области в технологии снятия с эксплуатации, в которых можно добиться улучшений.**

В общем смысле отходы, образующиеся при снятии ядерных установок с эксплуатации, несущественно отличаются от других радиоактивных отходов. Так как методы обращения с радиоактивными отходами, их обработки, хранения, транспортирования и захоронения достаточно хорошо освещены в других документах МАГАТЭ, на ближайшее бу-

дущее не планируется разработка новых документов для отходов, образующихся при снятии с эксплуатации.

Два других документа посвящены более детальному рассмотрению технических аспектов снятия с эксплуатации. В одном рассматриваются методы, используемые или разрабатываемые для дезактивации ядерных установок, применимые не только для снятия с эксплуатации, но также и для осуществления эксплуатации, инспекции, технического обслуживания и модификации действующих станций*.

Во втором документе приводится обзор современного состояния методов и технологий, используемых при снятии с эксплуатации ядерных установок.** Он предназначен для дополнения и обновления ранее опубликованных данных и, в частности, для углубления технической информации в тех областях технологии снятия с эксплуатации, которые еще не рассматривались, включая вопросы стоимости и финансирования деятельности по снятию с эксплуатации.

Этот документ снабжен тремя подробными приложениями. В первом приводится подробная информация о реакторах и других ядерных установках, которые уже сняты или вскоре будут сниматься с эксплуатации. Во втором приложении приводится обзор специального и обычного оборудования, используемого для демонтажа и разборки корпусов реакторов, бетонных конструкций, трубопроводов и других компонентов. Описаны некоторые методы, в том числе плазменная дуговая горелка, резание взрывом, шар для разрушения, нож с применением термитной реакции, фрезы, крупные устройства для распиливания бетона, промышленные роботы, автоматически управляемые транспортные устройства, а также применяемое в атомной промышленности оборудование и его характеристики. Во многих государствах-членах разрабатываются сложные системы с дистанционно управляемыми манипуляторами, дистанционно управляемые роботизированные системы и другое подобное улучшенное оборудование для решения будущих задач снятия с эксплуатации.

В развитие этих документов МАГАТЭ разрабатывает или планирует разработку технических отчетов по таким вопросам снятия с эксплуатации, как методы уменьшения профессионального облучения, технология, безопасность и экономика повторного использования материалов; дезактивация и демонтаж бетонных и стальных конструкций; контроль применительно к критериям неограниченного использования; состояние развития и применения дистанционно управляемых технологических систем для снятия с эксплуатации; разработка регламентирующих процедур.

* Факторы, связанные со снятием с эксплуатации атомных электростанций наземного размещения, Серия изданий МАГАТЭ по безопасности № 52 (1980 г.).

** *Decommissioning of Nuclear Facilities: Decontamination, Disassembly, and Waste Management*, IAEA Technical Reports Series No. 230 (1983).

* *Decontamination of Nuclear Facilities to Permit Operation, Inspection, Maintenance, Modification, or Plant Decommissioning*, IAEA Technical Reports Series No. 249 (1985).

** *The Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities*, IAEA Technical Reports Series (in press).

Нормы для снятия с эксплуатации

Для снятия с эксплуатации, как и для всех других ядерных операций, должны быть нормы, обеспечивающие защиту осуществляющих снятие с эксплуатации рабочих, населения и окружающей среды от недопустимой опасности ядерного характера, возникающей при работе. Тип процедур, норм и оборудования, выбираемых для гарантии безопасности во время проведения снятия с эксплуатации, определяется многими факторами. К ним относятся тип установки, величина и характеристики имеющейся в установке радиоактивности, имеющееся оборудование, параметры площадки и расположение на ней установки.

Нормы, применяемые во время обычной эксплуатации ядерных установок, например, нормы радиационной защиты, транспортирования и захоронения отходов, состава сбрасываемых в воду и воздух веществ, также применимы при снятии с эксплуатации. Кроме того, для снятия с эксплуатации, как и для обычной деятельности по обращению с отходами требуется разработка норм по снятию контроля за повторно используемыми или захороненными материалами, оборудованием, установками и площадками.

В случае разработки таких норм национальными или международными организациями для того, чтобы они имели юридическую силу в конкретных государствах-членах, их необходимо утвердить в национальных органах власти.

В прошлом специальные соответствующие нормы применялись индивидуально в каждом случае для снятия ограничений для выбрасываемых или повторно используемых изделий. Вот некоторые примеры.

- В Федеративной Республике Германии (ФРГ) атомное судно *Отто Ган* было полностью снято с эксплуатации путем удаления всего оборудования ядерной установки и очистки от остаточной радиоактивности. Это судно теперь может эксплуатироваться как обычное судно.

- Около 900 млн. граммов металлического скрапа с атомной электростанции Вюргассен в ФРГ было дезактивировано и повторно использовано в качестве металлического скрапа.

- В США в соответствии с руководствами Комиссии ядерного регулирования была разрешена очистка ядерных площадок и установок до уровня, позволяющего их неограниченное использование.

Такая практика применения критериев, разработанных для конкретного случая с учетом специфических особенностей, зарекомендовала себя достаточно хорошо. Однако желательна, с точки зрения эксплуатационного применения, разработка обобщающего набора принципов для снятия ограничений. Это объясняется следующим.

- Большие объемы радиоактивных отходов очень низкой активности, образующиеся при снятии с эксплуатации или в каких-либо других случаях, могут быть безопасно закопаны в землю, что обыч-

но намного дешевле, чем даже наименее дорогая форма неглубокого захоронения в хранилищах радиоактивности.

- Ценные металлы из снимаемых с эксплуатации установок, а также дорогое оборудование и площадки могут быть использованы повторно.

Международные радиологические принципы

В прошлом МАГАТЭ проявляло интерес к разработке международных принципов, связанных с захоронением тех радиоактивных материалов, которые представляют тривиальную опасность для здоровья. Предыдущие рабочие группы МАГАТЭ занимались рассмотрением требований, предъявляемых к количествам и характеристикам отходов, которые можно было бы сбрасывать в моря без получения специального разрешения или закапывать в землю, не требуя дальнейшего контроля со стороны регламентирующего органа.

В настоящее время работы по вопросу освобождения от контроля направлены на разработку набора принципов и правил, которые можно было бы применять в общем случае в обстоятельствах, при которых ощущается возможность отказа от необходимости выполнения определенных требований и правил. Представляется, что согласно этим правилам в каждом конкретном случае, когда рассматривается вопрос об освобождении от контроля, необходимо будет определять степень выполнения радиологических правил. Основное назначение такого требования заключается в предотвращении возможного злоупотребления процедурой освобождения от ограничений и исключения широкого распространения загрязнения отходами с малым уровнем активности. Однако еще существует возможность более общего освобождения от ограничений при захоронении определенными способами некоторых хорошо изученных типов отходов.

Философская основа правил освобождения от ограничений была разработана МАГАТЭ совместно с Агентством по ядерной энергии ОЭСР, Всемирной организацией здравоохранения и Международной организацией труда. Кроме того, был подготовлен документ, описывающий методы применения принципов освобождения от ограничений для практического определения освобожденных от ограничений количеств отходов, вывозимых на муниципальные площадки для закапывания или сжигаемых.

В настоящее время начато исследование по применению правил освобождения от ограничений и разработке методов моделирования для оценки практических освобождаемых от контроля количеств применительно к захоронению отходов, образующихся при снятии с эксплуатации, и к возможности повторного использования оборудования и материалов.

Снятие с эксплуатации

При снятии с эксплуатации ядерной установки нужны нормы и средства контроля для отделения радиоактивных отходов от отходов с низким уровнем активности, попадающих в категорию освобождаемых от ограничений. В общем случае выделяются три категории освобождаемых от ограничений материалов:

- отходы, которые будут отправлены на площадки для захоронения путем закапывания;
- ценные металлы, которые можно было бы переплавить и использовать повторно;
- ценное оборудование, которое можно было бы повторно использовать.

Применительно к этим трем категориям, возможно, наиболее важно, чтобы были соответствующие критерии и средства измерения для выделения первой категории отходов, направляемых на

захоронение. Причина этого заключается в том, что к первой категории относится наибольший объем отходов и что разность стоимости захоронения путем закапывания и в хранилищах ядерных отходов обычно достаточно велика.

Совместные инспекции

Кроме деятельности, описанной выше, МАГАТЭ активно сотрудничает со многими другими международными и национальными организациями в области снятия с эксплуатации и дезактивации ядерных установок. Задача состоит в том, чтобы свести к минимуму дублирование усилий и расширить, насколько это возможно, совместные инспекции.

Применение шара и крана для демонтажа реактора
(Предоставлено: Министерство энергетики США)

