

УДК 621.039.004.7

## Концепция прекращения эксплуатации АЭС в СССР и ряде стран — членов СЭВ\*

КРЕМНЕВ В. А., ЕЛИН В. А., ГАВРИЛОВ С. Д.

В Комплексной программе научно-технического прогресса стран — членов СЭВ до 2000 г. предусмотрено решение проблемы реконструкции и ликвидации АЭС после завершения их службы. Разработка концепции прекращения эксплуатации начата еще в 1984 г. специалистами Болгарии, Чехословакии и СССР, объединившимися затем в Международное хозяйственное товарищество по научно-техническому обеспечению снятия АЭС с эксплуатации (МХТ САЭ), и завершена лишь в настоящем году согласованием основополагающего документа «Основные положения».

Материалы МАГАТЭ, других международных и национальных организаций разных стран были использованы для разработки концепции, однако с самого начала специалисты МХТ САЭ стремились выделить общее между двумя основными направлениями прекращения эксплуатации (продление срока службы или снятие с эксплуатации) после окончательного останова и соответствующей подготовки блоков АЭС при обеспечении безопасности персонала, населения и окружающей среды.

Основанием для прекращения эксплуатации могут служить истечение назначенного срока службы; авария, после которой эксплуатация невозможна или нецелесообразна; изменение требований к надежности и безопасности эксплуатации, которым невозможно или нецелесообразно удовлетворять в рамках имеющейся конструкции; экономическая нецелесообразность эксплуатации.

Все перечисленные факторы уже использовались для принятия решений о снятии с эксплуатации. Так, 1-й блок Нововоронежской АЭС окончательно остановлен после 20 лет работы, блок А-1 АЭС «Богунце» снимается с эксплуатации после аварии, Армянская АЭС — по причине изменения требований к надежности и безопасности АЭС, все блоки с газогрифовыми реакторами во Франции — из-за их неконкурентоспособности с блоками, имеющими водо-водяные реакторы.

Подготовка к снятию с эксплуатации и собственно снятие — последние этапы жизненного цикла блока АЭС, включающего также строительство, ввод в эксплуатацию и собственно эксплуатацию.

Подготовка к снятию с эксплуатации — этап, во время которого блок АЭС эксплуатационным персоналом должен быть переведен в ядерно-безопасное состояние. Кроме того, за это время

требуется удалить радиоактивные отходы, провести штатное техническое обслуживание необходимого оборудования и систем. Длительность подготовки может также определяться требованием к снижению уровня радиоактивности оборудования, зданий и сооружений из-за распада короткоживущих радионуклидов, т. е. «выдержкой» блока.

Подготовка к продлению срока службы по экономическим причинам должна по возможности проводиться до окончательного останова блока.

Выполнение работ в радиационно опасных условиях требует большого объема научно-исследовательских, проектных, технологических и опытно-конструкторских работ, изготовления, испытаний и внедрения устройств для глубокой дезактивации и радиационно стойких робототехнических устройств.

Сооружение хранилищ и могильников для отходов разной активности, контейнеров для перевозки, устройств для уменьшения объема радиоактивных отходов и отделения их от материалов, которые могут использоваться вторично, — без решения этих вопросов невозможно создать технологию работ, а следовательно, и целостную концепцию.

До 1989 г. в СССР назначенный срок службы отработали и были окончательно остановлены только два опытно-промышленных блока АЭС общей мощностью 310 МВт, еще три блока остановлены в 1989 г. Необходимость проведения большого объема научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работ до 2000 г. диктуется планированием к прекращению эксплуатации в этот период 10—15 блоков АЭС. Резкое увеличение числа блоков, исчерпавших назначенный срок службы (30 лет), ожидается в начале следующего столетия.

В Болгарии, СССР и Чехословакии рассматривается как перспективное направление продление срока службы при обеспечении безопасности эксплуатации АЭС, наиболее детальный анализ этого направления проведен в работе [1].

По предварительным оценкам для варианта «ликвидация блока АЭС», включающего демонтаж оборудования и систем, разрушение зданий и сооружений блока с ВВЭР-1000, удаление образовавшихся отходов с площадки, затраты составят до 30% [2] общих затрат на строительство АЭС. Общие затраты во многом зависят от количества радиоактивных отходов, составляющих  $(5-20)10^3$  т, методов их обработки и отделения от отходов, ограниченное использование которых допускается.

\* Журнальный вариант доклада на 5-й Всесоюзной научной конференции по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок (Протвино, ИФВЭ, сентябрь 1989 г.).

ия  
е-  
й,  
л-  
ве  
те-

сть  
7,

вы  
н.:  
7.

вет

га-

?—

порт  
197,

е.—

бле-  
тех-  
988.

еда.  
мис-  
здат,

шан-

тре-

при-

трой-  
на.—  
бъек-  
МВД

изни.

обще-

выбор

ке ги-

1ПТШ

на на-

инских

ческа

1.08.89





В 1987—1988 гг. в СССР разработана Общесоюзная научно-техническая программа по снятию с эксплуатации блоков АЭС. В эту программу включены как часть работы, выполненные МХТ САЭ. При ее подготовке был использован опыт МАГАТЭ и стран ОЭСР. Учитывалось, однако, что некритическое использование зарубежного опыта может привести к выбору неоптимальной стратегии прекращения эксплуатации энергоблоков АЭС СССР и других стран—членов СЭВ.

Программа учитывает критерии обеспечения безопасности, экологические, экономические, социально-экономические и гигиенические вопросы, уровень развития средств технологического обеспечения снятия с эксплуатации блоков АЭС, наличие и характеристики хранилищ и могильников для отходов разной активности, допустимые сроки проведения работ.

Более 40 организаций и предприятий 15 министерств и ведомств СССР участвуют в ее выполнении. Программа состоит из следующих разделов:

1. Разработка методологических и нормативно-технических документов, включающих

основные положения, порядок разработки программы снятия с эксплуатации конкретного блока АЭС;

обеспечение ядерной и радиационной безопасности при проведении работ по снятию блоков с эксплуатации;

определение допустимых уровней радиоактивности демонтируемых материалов для их ограниченного и неограниченного использования;

требования к содержанию проекта снятия для вновь строящихся АЭС;

требования к технико-экономическим исследо-

ваниям, техническому и технико-экономическому обоснованиям;

обеспечение финансирования работ по снятию с эксплуатации АЭС.

Сюда же отнесены разработка Положения по продлению срока службы АЭС и разработка Основных положений по ликвидации АЭС с ВВЭР-440.

2. Конструкторско-технологические разработки, а именно:

разработка технологических процессов и средств технологического оснащения для глубокой дезактивации реконструируемых или снимаемых с эксплуатации оборудования и конструктивных элементов АЭС;

создание безлюдных технологий для демонтажа/монтажа оборудования и конструктивных элементов блока;

разработка технологических процессов и средств технологического оснащения для переработки образующихся при снятии с эксплуатации АЭС отходов.

3. Опытно-промышленные работы:

по переводу блоков Белоярской АЭС в ядерно- и радиационно безопасное состояние;

по ликвидации блока А-1 АЭС «Богунце»;

по ликвидации ядерной части Армянской АЭС;

по снятию с эксплуатации первой очереди Нововоронежской АЭС.

Направления программы иллюстрируются и на рисунке.

Для конкретного блока на стадии технико-экономических исследований рассматриваются различные варианты снятия его с эксплуатации и в итоге выбирается один вариант. Для него разрабатывается техническое обоснование принципиальной осуществимости и определяются технико-экономические обоснования проведения работ по выбранному варианту. При этом учитываются затраты трудовых, материальных, финансовых ресурсов и коллективная эквивалентная доза, включая ее экономическую оценку. Завершает подготовку к снятию разработка проекта.

В странах—членах СЭВ построены и строятся многоблочные АЭС; использование их персонала для радиационного контроля и обслуживания законсервированных блоков наряду с действующими и общая система мониторинга резко снижают затраты на текущий контроль и обслуживание остановленных блоков. Однако ситуация может измениться при ограничении количества площадок для АЭС и введении платы за промышленную площадку.

Эксплуатация любой АЭС независимо от того, как оборудование и помещения ее блоков использовались после окончательного останова (включая и продление срока службы), завершается в конечном счете ликвидацией, характеризуемой демонтажем радиоактивного оборудования, систем, зданий и сооружений блоков и общестанционных



сооружений и удалением радиоактивных отходов, активность которых превышает допустимую дозу для неограниченного использования (см. рисунок). Снятие промышленной площадки АЭС и ее санитарно-защитной зоны с радиационного контроля возможно только после проведения рекреационных работ, снижающих излучение до уровня, допускающего неограниченное их использование.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Novák S. Ukoučenie pvevádsky jadrových elektrární a otárky predézenia ich životnosti.— *Jaderná energie*, 1987, v. 33, с. 3, s. 31.
2. Фатеев В., Бауэр Х., Раболд Х. Некоторые вопросы, связанные с окончанием расчетного срока службы АЭС.— В сб.: Пути сокращения сроков и совершенствования методов строительства, монтажа и освоения мощности, а также снижения затрат при сооружении АЭС с реакторами ВВЭР. Будапешт, 1979, с. 252.

Поступила в Редакцию 28.11.89

УДК 530.12.01

## Особенности решения радиационных проблем на протонных ускорителях нового поколения\*

МОХОВ Н. В.

Ускорители заряженных частиц — основной инструмент исследования глубинных свойств материи — бурно развиваются во всем мире по пути повышения энергии и светимости взаимодействий.

К протонным ускорителям нового поколения относятся машины, основанные на использовании сверхпроводящих магнитов, что в настоящее время является единственной возможностью продвинуться в тераэлектронвольтовую область энергии с затратами, приемлемыми для таких стран, как СССР и США, или для группы стран (ЦЕРН). С 1983 г. в США успешно работает первый такой ускоритель Теватрон протонов и антипротонов энергией  $E_0 = 0,9$  ТэВ. Проектируются и строятся еще три комплекса, планируемые к запуску в 90-е годы: УНК (СССР) с  $E_0 = 3$  ТэВ, ЛНС (ЦЕРН) с  $E_0 = 8$  ТэВ и SSC (США) с  $E_0 = 20$  ТэВ. Интенсивность пучков будет достигать  $10^{14}$  —  $10^{15}$  протонов в импульсе, светимость взаимодействий в местах встреч  $10^{31}$  —  $10^{34}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Периметры основных кольцевых туннелей этих ускорителей составляют от 21 до 86 км, а общая протяженность туннелей бустеров, каналов инжекции, каналов тестовых пучков и каналов с экспериментальной базы может достигать десятков километров.

К предмету радиационной физики на таких комплексах относятся все макроскопические проблемы, возникающие при взаимодействии пучков первичных или вторичных частиц с веществом элементов самих машин или экспериментальных установок. Особенности решения радиационных задач на ускорителях нового поколения определяются масштабами этих машин, использованием сверхпроводящих магнитов, параметрами пучков, требованиями к возможностям расчетного аппа-

рата. Рассмотрим последовательно эти особенности.

**Экологический аспект.** Размеры всех трех создаваемых комплексов (УНК, ЛНС и SSC) значительно превышают территории технических площадок соответствующих институтов. Впервые возникает ситуация, когда кольцевые туннели ускорителей могут проходить непосредственно под населенными пунктами. Отсюда очевидна исключительность экологического аспекта в соответствующих проектах. Оценка радиационного воздействия УНК на окружающую среду дана нами в работе [1].

Первопричиной возникновения полей ионизирующего излучения в элементах ускорителя и за их пределами являются потери пучка на разных стадиях рабочего цикла. Протоны, выбывающие из фазового объема циркулирующего пучка в силу случайных или неизбежных причин, попадают на стенки вакуумной камеры. При этом возникают ядерно-электромагнитные каскады, компоненты которых могут обладать значительной проникающей способностью, приводя к образованию полей мгновенного излучения. Результатом воздействия компонентов этих полей на оборудование ускорителя и окружающую среду является навесная радиоактивность элементов комплекса, воздуха в туннелях, грунта и грунтовых вод вблизи стен туннелей.

Основной защитой персонала и населения от мгновенного излучения является толща грунта над кольцевым туннелем, каналами транспортировки частиц и над экспериментальными залами. Совокупность предусмотренных в проекте УНК мер (локальные защиты, коллиматоры и др.) обеспечивает на внутренней поверхности стен туннелей и подземных залов плотность потока адронов не более  $10^6$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, определенную из условия непревышения допустимой концентрации радионуклидов в грунте и грунтовых водах вблизи туннелей. Требуемая толщина грунтовой защиты

\* Журнальный вариант доклада на 5-й Всесоюзной научной конференции по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок (Протвино, ИФВЭ, сентябрь 1989 г.).