

УДК 621.311:502/504

**С.А. Чесноков, А.Э. Кокосалзе, В.М. Фридкин,
А.А. Лукина**

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СНЯТИЯ НАЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрены особенности снятия наземных атомных электростанций с эксплуатации и окончательного захоронения конструкций реакторов и радиоактивных атомных отходов – одной из важнейших проблем замыкания ядерно-топливного цикла в атомной энергетике. Предложено решение этой проблемы для наземной АЭС.

Ключевые слова: наземная атомная электростанция, состояние снятия с эксплуатации, сверхдолговременное пирамидальное укрытие.

Снятие атомных электростанций (АЭС) с эксплуатации и окончательное захоронение радиоактивных атомных отходов (РАО) – одни из важнейших проблем замыкания ядерно-топливного цикла в атомной энергетике.

По рекомендациям МАГАТЭ процесс эксплуатации АЭС должен доводиться до так называемого уровня «зелёной лужайки». Это означает, что на месте многолетней эксплуатации станции должно создаваться естественное природное образование. К сожалению, для наземных станций выполнение этого условия связано с принципиальной технологической задачей – безопасным разбором заражённых элементов станции после извлечения высокоактивных отходов (ВАО) и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Принципиальными являются вопросы, куда и как следует направлять снятые с эксплуатации элементы станции после разборки, в первую очередь, ядерных реакторов. Если их оста-

вить на месте без демонтажа, то ни о какой «лужайке» речи быть не может.

Для подземных станций в компоновке, как в вертикальных стволах [1], так и в горизонтальных тоннелях (кавернах), эта проблема решается принципиально проще. Предполагается, что после вывоза ВАО и ОЯТ или их окончательного захоронения в размещённых под станциями (или возле них) хранилищах пространство подземных реакторных помещений и стволы над ними будут засыпаны, например, смесью бентонита и свинцового порошка, и закрыты мощными железобетонными крышками, которые должны предотвращать проникновение на земную поверхность средне- и низкоактивных отходов. По такой же схеме предполагается засыпать горизонтальные выработки с реакторами. При этом в засыпаемых конструкциях должны быть установлены датчики для многолетнего мониторинга радиационной безопасности в зоне расположения станции.

Вопросы снятия АЭС с эксплуатации разработаны достаточно детально [2, 3]. В настоящее время в мире эксплуатируется более 430 наземных ядерных установок. В Западной Европе уже остановлено более десяти установок небольшой мощности. Эти станции выведены из эксплуатации, но их снятие с эксплуатации не завершено, поскольку не закончен комплекс мероприятий, определяющих их окончательное состояние. Наибольшее количество снимаемых с эксплуатации установок достигнет в период 2010-2019 годов, когда предполагается снять с эксплуатации более 100 установок.

Комиссия европейских сообществ разработала программы НИОКР по следующим основным направлениям:

- длительное сохранение целостности зданий и систем АЭС;
- дезактивация сооружений и систем АЭС в процессе их снятия с эксплуатации;
- разработка методов демонтажа оборудования АЭС;
- кондиционирование таких отходов как сталь, бетон, графит;
- разработка конструкции транспортных контейнеров большой вместимости для РАО, образующихся в процессе проведения работ по снятию станции с эксплуатации;
- определение объёмов указанных выше отходов;
- учёт процесса прекращения эксплуатации АЭС при её проектировании;
- выявление при проектировании и эксплуатации ядерных установок основных принципов прекращения эксплуатации АЭС, позволяющих упростить процесс снятия АЭС с эксплуатации, а также связанных с этим работ:
- испытание новых методов прекращения эксплуатации в реальных

условиях при выполнении работ по снятию АЭС с эксплуатации.

Следует отметить, что термин «снятие с эксплуатации» означает комплекс действий по выводу установки из эксплуатации, предпринимаемых в конце срока её полезной службы или после аварии с целью обеспечить необходимую безопасность эксплуатационного персонала АЭС, населения близлежащих поселков и городов, а также защиту окружающей среды.

В Великобритании и Франции были сформулированы определения нескольких основных состояний прекращения эксплуатации АЭС и установления сроков достижения этих состояний в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ.

Применяемый термин «состояние» означает ряд условий для ядерной установки, находящейся в процессе снятия с эксплуатации. При этом предполагается не непрерывный поэтапный переход из одного состояния в другое, а осуществление каждого из них независимо друг от друга.

В первом состоянии ядерная установка находится сразу после остановки АЭС. Первый защитный барьер на пути распространения радиоактивного загрязнения должен сохраняться в том же виде, что и при эксплуатации АЭС. В первую очередь производится выгрузка ядерного топлива. Все люки герметизируются, но давление и температура в защитной оболочке остаются такими же, как и в процессе эксплуатации АЭС. Устанавливается контрольная зона, ведётся надзор за её состоянием и регулярные инспекции.

Во втором состоянии объём мероприятий, связанных с сохранением первого защитного барьера сокращается до минимума. Осуществляется демонтаж всех сооружений АЭС вне биологической защиты. После дезак-

тивации защитной оболочки она может быть удалена. Реактор полностью герметизируется. Объём мероприятий по надзору значительно уменьшается, но контрольная зона сохраняется.

В третьем состоянии производится демонтаж и удаление реактора вместе с биологической защитой или корпусом, например, из предварительно напряжённого железобетона, а также окончательная дезактивация площадки АЭС. Осуществление надзора и инспекций прекращается. Контрольная зона снимается.

Необходимо отметить, что достижение третьего состояния весьма трудоёмко и опасно для исполнения из-за сложности расчленения радиоактивных конструкций, поскольку это требует проведения специальных мероприятий, связанных с использованием дистанционно управляемого оборудования. Фактически эти работы составляют наибольшую долю в общих расходах для снятия АЭС с эксплуатации. Существуют следующие варианты прекращения эксплуатации АЭС:

- первое, второе и третье состояния достигаются спустя 10-15 лет после конечного останова ядерного реактора;

- первое и второе состояние достигаются через 7-10 лет после останова реактора, а третье – спустя 50 лет и более

- первое состояние достигается сразу после остановки реактора, а второе и третье – спустя 50 лет и более.

Выбор того или иного варианта зависит от многих факторов. В том числе и необходимости длительного сохранения целостности зданий и сооружений АЭС. К другим факторам относят экологичность проводимых работ и расходы, зависящие от методов

в процессе производства работ по снятию АЭС с эксплуатации.

В условиях снятия АЭС с эксплуатации точно рассчитать плотности нейтронного потока для многих узлов и оборудования реактора трудно, потому что внутри около активной зоны они имеют сложные геометрические очертания, а также потому, что для оценки значений активации необходимо иметь точное представление о распределении радионуклидов в конструкционных материалах – до одной миллионной или даже миллиардной доли содержания радионуклидов. Поэтому проблемы окончательного снятия АЭС с эксплуатации представляются достаточно сложными. Стоимость этих работ по экспертным оценкам может составлять до 10% стоимости выработанной энергии за всё время работы станции. Например, для нового укрытия 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС разрабатывается арочная пространственная полая внутри структура из трубчатых стальных несущих элементов с намечаемым сроком службы такого укрытия всего 50 лет.

Предлагается для наземной АЭС решить эту проблему возведением специального пирамидального укрытия из сборно-монолитного железобетона и сталежелезобетона над контейнментом станции, в том числе с засыпкой реакторного отделения и всех заражённых элементов станции внутри такого укрытия, например, составом из бентонитовой глины со свинцовым порошком. Бентонит с указанными составляющими будет частично залит или качественно засыпан, утрамбован или укатан для достижения высокой плотности. Возможно применение специальных химических веществ и биоактивных (бактериальных) добавок в укладываемый и уплотняе-

мый грунт, что должно создать радиационно непроницаемую завесу (мульти-барьер), со временем наращивающую свои защитные свойства.

Таким образом, наземную станцию можно будет выводить из эксплуатации на неограниченный срок вместе со всеми имеющимися у неё заражёнными конструктивными элементами без их демонтажа и расчленения на блоки. Для исключения попадания радионуклидов в осадочные породы геомассива вокруг консервируемого наземного реакторного отделения может быть создана специальная водонепроницаемая завеса на основе структур из буро-инъекционных свай на глубину до 75 м с высоким уровнем поглощения и рассеивания волновых ударных и сейсмических воздействий. Указанная структура пира-

миды послужит надёжной защитой от прямого или очень близкого к прямому попадания в пирамиду средств массового поражения, глубинных бомб и метеоритов. По мере старения в течение сотен и тысяч лет пирамида может быть снаружи обстроена новыми защитными конструкциями, не снижающими качества охраны внешней среды.

В целом дальнейшее развитие конструктивных форм защитных инженерных сооружений позволит значительно повысить безопасность и снизить стоимость процедур вывода подземных и наземных АЭС из эксплуатации и создать сверхдолговременные надёжные укрытия со степенью радиоактивного заражения местности не более чем на уровне природной радиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кедровский О.Л., Дмитриев С.А., Фридкин В.М., Чесноков С.А. Критерии и направления создания инженерных сооружений для подземного захоронения радиоактивных отходов и создания подземных атомных электростанций // Наука и технологии в промышленности. – № 4, 2008. – С. 65-69.

2. Савченко В.А., Сквородько В.Н. Прекращение эксплуатации АЭС по истече-

нии их срока службы // Атомная энергетика. (Итоги науки и техники) М: ВИНТИ, 1985. – 124 с.

3. Савченко В.А., Сквородько С.Н. Экономические аспекты снятия АЭС с эксплуатации // Атомная техника за рубежом. 1986, № 1. – С. 11-15. **ИТАБ**

Коротко об авторах

Чесноков С.А., Кокосадзе А.Э. – ЗАО «Институт Оргэнергострой»,
Фридкин В.М., Лукина А.А. – МГСУ.

