

СТАТЬИ

УДК 621.311.25.004/621.039.51.14

СРОК СЛУЖБЫ ПЛОЩАДКИ АС

*Копытов И.И., Ноздрин Г.Н., Харченко Е.Д. (Атомэнергопроект),
Былкин Б.К. (ИЯР РНЦ «Курчатовский ин-т»)*

В настоящее время одним из направлений развития ядерной энергетики является продление сроков эксплуатации. Тем не менее для любого энергоблока АС наступает момент, когда это становится экономически нецелесообразным и он окончательно останавливается, т.е. прекращается выработка энергии, предусмотренная проектом. После этого энергоблок выводится из эксплуатации как энергетический источник и переводится в ядерно безопасное состояние, которым признано состояние, характеризующееся отсутствием облученного ядерного топлива.

Этапы перехода от стадии эксплуатации к завершающей стадии жизненного цикла энергоблока АС не нашли однозначной трактовки в отечественной нормативно-технической базе. В работе [1] выводом из эксплуатации энергоблока АС предлагается считать деятельность после окончательного останова энергоблока, связанную с удалением ядерного топлива. После ее завершения энергоблок предлагается считать выведенным из эксплуатации, поскольку, следуя закону об использовании атомной энергии, именно с этого момента его объекты приобретают статус радиационного источника, а не реакторной установки.

С позиции жизненных циклов в понятие «энергоблок АС», по нашему мнению, входят следующие составляющие: облученное ядерное топливо, объекты энергоблока и площадка энергоблока. Жизненный цикл ядерного топлива после его удаления становится не связанным с жизненным циклом энергоблока и должен рассматриваться отдельно.

Жизненный цикл площадки АС. Очевидно, что объекты энергоблока и его площадка имеют свои самостоятельные жизненные циклы. Продолжительность жизненного цикла площадки энергоблока АС значительно дольше жизненного цикла объектов энергоблока.

Площадка АС, как правило, содержит несколько энергоблоков, находящихся на различных временных расстояниях от завершающей стадии. Она имеет мощные связи с энергосистемой, является градообразующей частью инфраструктуры региона и содержит различные производства, обеспечивающие функционирование не только энергоблоков, но иногда и предприятий региона. В отечественной практике энергоблоки — ближайшие кандидаты на окончательный останов сооружались очередями. Каждая очередь имеет общую часть: машзал, спецкорпус и др., энергоблоки с ВВЭР-440 — и общий центральный зал. На площадке первых энергоблоков, как правило, располагаются и общестанционные сооружения. Поэтому ликви-

дация объектов энергоблока не может рассматриваться в отрыве от жизненного цикла других энергоблоков и площадки АС в целом.

За рубежом известны демонстрационные проекты ликвидации энергоблоков АС, в которых реакторы сохраняются в изолированном по радиационному фактору состоянии десятилетиями. Такой подход не предполагает дальнейшее использование площадок в целях, связанных с ядерной энергетикой, и объясняется, по видимому, свертыванием ядерно-энергетической программы. По существу, радиационно опасные объекты АС переводятся в статус долговременного хранилища. Затраты на этом этапе покрываются из специально созданного фонда или бюджета, что снижает, если не сводит к нулю, экономическую эффективность всей ядерно-энергетической технологии.

В работе [2] вопрос экономической эффективности энергоблока АС на всех стадиях его жизненного цикла предлагается решать за счет экономически прибыльной деятельности на стадии эксплуатации. Считается, что при правильной эксплуатации удастся не только вернуть капитальные вложения, но и профинансировать затратную деятельность на заключительной стадии. Однако это предложение представляется идеализированным. Действительно, для отечественных энергоблоков, подошедших вплотную к заключительной стадии, такой подход невозможен в силу отсутствия времени на накопление необходимых средств. Для вновь сооружаемых энергоблоков это, скорее всего, невозможно, поскольку неизвестны будущие затраты, связанные, например, с необходимостью приведения их безопасности к требованиям более жестких норм, появление которых возможно на протяжении 40—60 лет эксплуатации. История развития ядерной энергетики показывает, что каждые 10—15 лет происходило серьезное ужесточение таких требований. Очередное следует ожидать начиная с 2020 г., когда предполагается, например, во Франции появление первых энергоблоков четвертого поколения. В этой ситуации возможна серьезная критика прежних проектов с одновременным ужесточением норм безопасности.

В нашей стране вряд ли можно в полном объеме использовать опыт стран, свертывающих ядерно-энергетическую программу. Наиболее полезным следует признать подход Франции, которая планирует замену действующих энергоблоков энергоблоками нового поколения. Это предполагает сохранение площадки АС в собственности ядерно-энергетического комплекса, а решение вопросов ее превращения в «зеленую лужайку» отодвигается на неопределенно отдаленный срок. Длительность жизненного цикла площадки АС определяется продолжительностью ядерно-энергетического периода, вид ее конечного состояния — стратегией использования. Для выработки такой стратегии можно предложить цель: площадка АС должна использоваться только для нужд ядерно-энергетической отрасли. Исходя из этой цели деятельность на всех стадиях жизненного цикла энергоблоков, включая завершающую, должна обеспечивать долговременное использование площадки. Поэтому на объектах энергоблока АС на заключительной стадии жизненного цикла возможна лишь деятельность, связанная с восстановлением либо реновацией. Строительные конструкции и оборудование должны быть ликвидированы в той мере, в какой это мешает сооружению замещающих ядерно-энергетических мощностей, и к тому моменту, когда будет определено начало такого строительства. Затраты на эту деятельность могут быть отнесены на замещающее строительство [3].

Критика существующей организации процесса вывода из эксплуатации. В настоящее время на первых энергоблоках Нововоронежской АЭС осуществляется

деятельность под общим названием «вывод из эксплуатации». Выбран вариант ликвидации после длительного сохранения под наблюдением. Эта деятельность состоит из нескольких этапов: подготовка к выводу из эксплуатации, подготовка к сохранению энергоблока под наблюдением, сохранение энергоблока под наблюдением и ликвидация энергоблока как радиационного объекта. Общая продолжительность деятельности оценивается в 50—80 лет. Ожидается, что за это время будут удалены в региональные или национальные хранилища все радиоактивные материалы.

Работы на первом этапе осуществляются в рамках лицензии на эксплуатацию. Реализация остальных этапов требует получения лицензии на новую деятельность — создание и эксплуатация долговременных хранилищ радиационных источников, которыми являются эксплуатационные хранилища радиоактивных отходов, а также оборудование, здания и сооружения, подвергшиеся радиоактивному загрязнению при эксплуатации.

В настоящее время завершаются работы по первому этапу. Среди оставшихся работ наибольшую озабоченность вызывает разработка проекта вывода из эксплуатации. Проработка проектных материалов показывает, что до сих пор нет единого мнения о составе и содержании проектно-сметной документации, носящей такое название. До решения этого вопроса осуществляется фактически перевод некоторых объектов зоны строгого режима в склады радиоактивных отходов, обеспечивающий решение острых сиюминутных проблем эксплуатации всей АЭС, что не может быть признано оптимальным. По нашему мнению, такое положение объясняется отсутствием осознания того факта, что деятельность на заключительной стадии является по существу новым инвестиционным процессом, который требует соответствующей организации.

Общепринято, что перед разработкой любого нового проекта (проектно-сметной и рабочей документации) должны быть выполнены предпроектные исследования и обоснования, а именно «формирование инвестиционного замысла», «декларация о намерениях» и «обоснование инвестиций». Выполненные к настоящему времени технико-экономические исследования снятия с эксплуатации и технико-экономическое обоснование длительной консервации первых двух энергоблоков Нововоронежской АЭС являются работами по формированию инвестиционного замысла. Они сформулировали цель инвестиционной деятельности — ликвидация блока АС после длительного сохранения под наблюдением. Но этого не достаточно. Для выбора оптимальных с позиций инвестирования и экологических аспектов проектных решений необходимо выполнение и двух других предпроектных этапов. Необходимость этих этапов диктуется и существующим порядком организации любого инвестиционного проекта, который предусматривает процедуры экологических и общественных экспертиз уже на предпроектных этапах. Только после завершения этих этапов могут начаться проектные работы, которые дадут решения конкретных задач на завершающей стадии.

На этапе обоснования инвестиций анализируются и оцениваются варианты возможных решений, учитывающих перспективу развития и потребности ядерной энергетической отрасли. Должны быть проанализированы, например:

принципиальные подходы к переработке всех радиоактивных материалов и необходимость создания отраслевых или национальных могильников, их число и места размещения;

возможность и/или необходимость восстановления ядерно-энергетического источника;

возможность и/или необходимость ликвидации некоторых объектов в целях использования освободившихся площадей под новое строительство;

возможность и/или необходимость создания в пределах существующего генерального плана или санитарно-защитной зоны АС хранилища всех или части отходов, включая радиоактивные, в том числе образующиеся при демонтаже, их статус;

принципиальные требования к технологии переработки радиоактивных материалов.

В частности, при выборе направления деятельности на площадке с РБМК могла бы быть рассмотрена целесообразность перепрофилирования главного корпуса в хранилище радиоактивных материалов как для нужд самих АС, так и отрасли [4].

Без выполнения всех предпроектных работ существующая деятельность может характеризоваться неоптимальным использованием отпускаемых инвестиций, особенно в условиях их дефицита.

Площадка АС и долговременное хранение радиоактивных материалов.

Утилизация строительных материалов и оборудования объектов выведенного из эксплуатации энергоблока является ключевым моментом, призванным обеспечить конкурентоспособность замещающих мощностей. В настоящей статье для краткости под радиоактивными материалами понимаются как радиоактивные отходы, накопившиеся за период эксплуатации, так и оборудование, строительные конструкции, имеющие радиоактивное загрязнение.

На действующих энергоблоках схема обращения с самого начала была ориентирована на сбор всех радиоактивных материалов, уменьшение их объема и вывоз в долговременные хранилища (см. схему *a* на рисунке). Отсутствие вывоза привело к быстрому исчерпанию проектных объемов на хранение. Выход из создавшегося положения видели прежде всего в учете и сокращении образующихся при эксплуатации жидких радиоактивных сред, что значительно сократило количество, поступающее на переработку, однако не решило проблемы, и потребовалось сооружение дополнительных емкостей. Учитывая, что проектные и дополнительные емкости не предназначены для долговременного хранения, решение долговременного хранения связывалось с внедрением комплексов по отверждению кубового остатка. Такие комплексы призваны решить две проблемы: освобождение емкости для временного хранения кубового остатка и долговременное хранение в твердом виде радиоактивных отходов на площадке.

Не лучше обстоит дело и с твердыми радиоактивными отходами. Единственным облегчением здесь является более или менее фиксированное и химически неагрессивное состояние радионуклидов. К настоящему времени проектных хранилищ твердых радиоактивных отходов, особенно после широкого внедрения отверждения, также стало не хватать.

Таким образом, реализация главной идеи — вывоз всех радиоактивных материалов с площадки АС в региональные или национальные хранилища через дли-

тельное время приводит к непрерывному заполнению существующих и вновь сооружаемых хранилищ на площадке.

Ликвидация энергоблока АС с длительным хранением под наблюдением базируется на этой же идее вывоза. При отсутствии внешних хранилищ это также приведет к увеличению площадей хранения радиоактивных отходов на площадке АС в течение исторических периодов.

Таким образом, существующее обращение с радиоактивными отходами предполагает наличие региональных и национальных хранилищ, которые способны вместить все радиоактивные материалы, образующиеся как в процессе эксплуатации, так и при ликвидации энергоблоков АС страны, существующих и будущих.

Принципиально можно обозначить следующие места возможного размещения таких объектов: площадки, относящиеся к объектам топливного цикла, площадки АС, площадки, на которых хранятся отходы утилизированных транспортных реакторов, полигоны испытаний ядерного оружия и новые площадки.

Из реального рассмотрения следует исключить три последних пункта, так как они не приемлемы либо по экологическим соображениям, либо из-за удаленности, влекущей большие затраты на транспортировку. Таким образом, в качестве потенциальных мест размещения долговременных хранилищ остаются только площадки, связанные с топливным циклом, например, отработанные шахты и площадки АС.

Исходя из необходимости сохранения любой площадки АС для целей ядерной энергетики, возможность сооружения могильников или долговременных (300 лет и более) хранилищ радиоактивных отходов на площадке АС представляется неоптимальным решением, поскольку оно неизбежно приведет к ее выводу из сферы производства энергии. Также очевидно, что ожидаемое количество радиоактивных материалов, требуемых для переработки и удаления с площадки, таково, особенно при ликвидации выведенных из эксплуатации энергоблоков, что существующая страте-

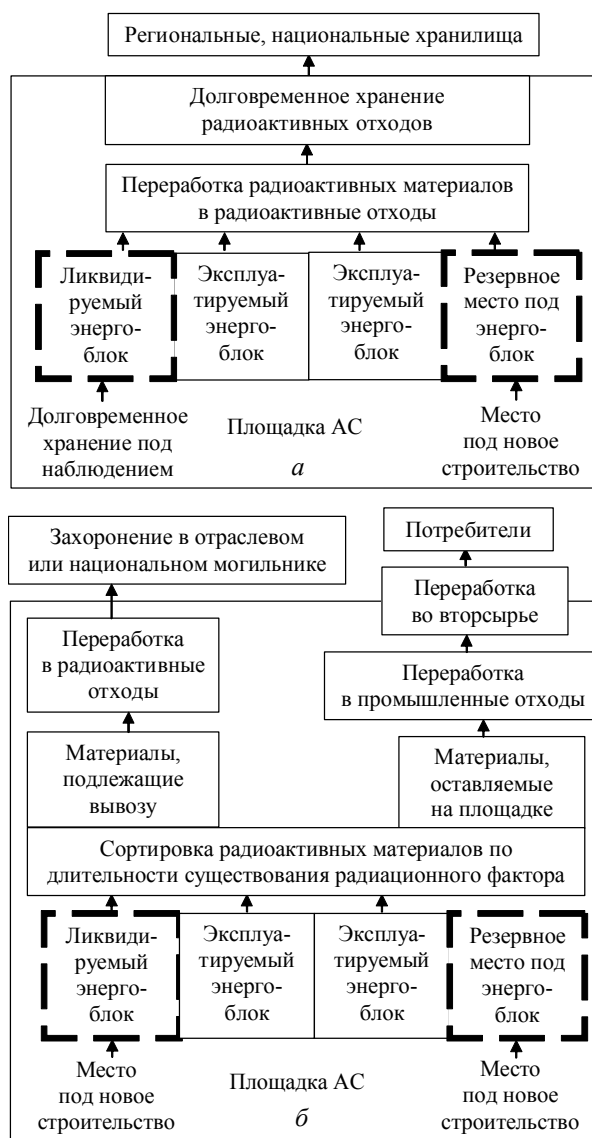


Схема обращения с радиоактивными отходами на АС

гия обращения с радиоактивными материалами не в состоянии решить эту проблему.

Новый подход может базироваться на следующих положениях. На каждой площадке АС должна осуществляться сортировка радиоактивных материалов по возможности их утилизации. Радиоактивными отходами должны признаваться только те радиоактивные материалы, радиационный фактор которых превышает оптимальный. Оптимальность должна определяться с учетом длительности срока эксплуатации энергоблоков и наличия площадей для замещающих мощностей. Только эти отходы в виде, пригодном для транспортировки, должны вывозиться с площадки для захоронения в национальном либо отраслевом могильнике. Остальные материалы должны оставаться на площадке и подвергаться дальнейшей переработке в промышленные отходы и вторичное сырье. Этот подход может быть иллюстрирован схемой *б* на рисунке.

Реализация такого подхода потребует не только оптимизации существующего обращения с радиоактивными материалами, но и сооружения на площадке специального производства (аналог комплекса по переработке на Кольской АС), в котором будет осуществляться переработка радиоактивных материалов в промышленные отходы. Вместо долговременного хранилища радиоактивных материалов на площадке должно быть выделено место под складирование промышленных отходов с последующей их утилизацией для нужд либо АС, либо региона. Генеральный план новых АС должен с самого начала предусматривать сооружение подобного производства. Это обеспечит сооружение замещающих мощностей на резервных местах и местах ликвидируемых энергоблоков. Кроме того, при таком подходе АС становится в значительной степени безотходным производством, количество вывозимых радиоактивных отходов резко сокращается.

Классификация радиоактивных сред и материалов. В отечественной практике радиоактивные материалы принято классифицировать по категориям — низкого, среднего и высокого уровня удельной активности. Для β -излучающих радионуклидов это выглядит следующим образом.

К высокоактивным (более 10^{10} Бк/кг) относятся элементы как самого реактора, так и окружающие его строительные материалы (бетонная шахта и др.). К среднеактивным (10^{10} — 10^6 Бк/кг), скорее всего, относится только часть оборудования и строительных конструкций реакторного отделения. Большая часть строительных конструкций и оборудования этого отделения может быть отнесена к низкоактивной (менее 10^6 Бк/кг) категории. Все оборудование и строительные конструкции энергоблока АС зоны свободного режима могут быть отнесены к категории (менее 10^5 Бк/кг), на которую не распространяются правила обращения с радиоактивными материалами.

С позиции организации обращения при проектировании необходима иная классификация. Эта классификация должна отвечать на вопросы:

как долго нужно выдерживать те или иные радиоактивные материалы, пока они не станут безопасными по радиационному фактору;

в каких условиях необходимо содержать эти материалы, т.е. требуется ли теплоотвод, нужна ли (и какая) радиационная защита, нужны ли (и какие) меры физической защиты;

нужны ли, а если нужны, то какие, меры, исключающие миграцию радионуклидов в окружающую среду.

Ответ на первый вопрос зависит от радионуклидного состава загрязнителей. Если ввести комплексную характеристику «длительность существования радиационного фактора», учитывающую одновременно концентрацию радионуклидов и период их полураспада, то все радиоактивные материалы можно разделить на две категории: материалы с приемлемым и неприемлемым сроком существования радиационного фактора. Материалы, отнесенные к второй категории, должны подвергаться концентрированию, вплоть до категории высокоактивных. Это не должно настораживать, поскольку АС является объектом, с которого на протяжении всей стадии эксплуатации осуществляется вывоз материалов, обладающих самой большой активностью, — облученное ядерное топливо. Технология такого вывоза хорошо отработана. При этом, по-видимому, можно использовать известные контейнеры НЗК. Все остальные радиоактивные материалы могут быть оставлены на площадке АС в целях дальнейшей их переработки в промышленные отходы ограниченного или неограниченного применения.

Ответ на вторую группу вопросов зависит от энергии, генерируемой радионуклидами, и характеристик экранирования излучения самим материалом (матрицей). Здесь могут быть введены следующие категории классификации: материалы, требующие и не требующие отвода тепла радиационного распада, материалы, требующие и не требующие дистанционных методов обращения, материалы, требующие и не требующие особых физических средств защиты.

Ответ на третью группу зависит от степени фиксированности радионуклидов в исходных материалах. Здесь могут быть предложены две категории: требуется кондиционирование и не требуется дополнительное кондиционирование.

Такая классификация позволит оптимально в целях долговременного использования площадки АС спроектировать процессы обращения с радиоактивными средами и материалами на стадии как эксплуатации, так и ликвидации объектов энергоблока.

Обращение с радиоактивными отходами на действующих АС. На окончательно остановленных энергоблоках и энергоблоках, подошедших вплотную к этому этапу, большую озабоченность вызывает ликвидация хранилищ жидких и твердых радиоактивных отходов.

Среди жидких радиоактивных сред, образовавшихся в процессе эксплуатации, наибольший объем занимает продукт переработки трапных вод в виде кубового остатка, длительное хранение которого привело к образованию трудно извлекаемого твердого осадка. Для дальнейшего уменьшения физического объема и подготовки к долговременному хранению требуются дополнительные, не предусмотренные исходным проектом операции по растворению и повторному упариванию с получением солевого плава. Кондиционирование солевого плава осуществляется цементированием в бочках, проектный срок эксплуатации которых менее 10 лет. В результате такой многоступенчатой переработки исходные радионуклиды из трапных вод, увеличивая свою концентрацию, направляются в помещения окончательно остановленного энергоблока или специальные ангары.

Ясно, что этот процесс требует серьезной оптимизации, особенно с учетом деятельности на заключительной стадии жизненного цикла энергоблока. Эта техноло-

гия, по нашему мнению, страдает и еще одним неприятным свойством — отсутствием внутренней защищенности от террористических угроз, что становится особенно важным при длительном хранении.

Способы обращения с радиоактивными отходами, образующимися при ликвидации всех объектов энергоблоков, находятся только на стадии поиска. Известно, что радиоактивность оборудования и строительных конструкций можно характеризовать как фиксированную и нефиксированную. При фиксированной невозможен перенос радионуклидов при контакте, и они не могут быть удалены дезактивацией. Фиксированной радиоактивностью обладают элементы, подвергшиеся нейтронному облучению при работе реактора на мощности (наведенная радиоактивность). Эти элементы являются наиболее радиоактивными. При должным образом организованной фрагментации этих элементов основная проблема сводится к защите персонала от внешнего облучения и может быть успешно решена применением дистанционной технологии. Опыт выполнения таких работ имеется, например, на 1-м энергоблоке Нововоронежской АЭС [5].

Нефиксированная радиоактивность, несмотря на более низкую дозовую опасность, создает значительно большие проблемы. На стадии эксплуатации снижение радиационной нагрузки от нефиксированной радиоактивности достигается дезактивацией, которая нацелена прежде всего на безопасность персонала. Однако это увеличивает количество вторичных радиоактивных отходов. Уменьшение таких отходов является важным моментом при выборе технологии демонтажа. При демонтаже в силу относительной кратковременности процедур и применения дистанционной технологии главным становится предотвращение распространения радионуклидов, что может быть достигнуто применением технологии, обеспечивающей скорее фиксацию радионуклидов на поверхностях, чем их удаление. Это позволяет не только исключить распространение радионуклидов по помещениям и в окружающей среде, но и существенно уменьшить образование вторичных радиоактивных отходов. Это особенно важно при демонтаже строительных конструкций, поскольку он традиционно связывается с образованием больших объемов пыли [6].

Концепция «разбавление с фиксацией». Анализ требований Норм по обращению с радиоактивными материалами показывает, что для жидких сред и твердых материалов существует значительная разница в значениях нижней границы удельной активности. Так, согласно ОСПОРБ-99 не вводятся никаких ограничений на использование в хозяйственной деятельности любых твердых материалов, сырья и изделий при удельной активности радионуклидов в них менее $3 \cdot 10^2$ Бк/кг, твердыми признаются только те материалы, удельная активность которых превышает 10^5 Бк/кг. В то же время для органических и неорганических жидкостей, пульп и шламов не вводятся никаких ограничений, если удельная активность содержащихся в них радионуклидов ниже 10-кратного превышения уровня вмешательства, т.е. воды удельной активностью, например, по ^{90}Sr более 50 Бк/кг уже признаются радиоактивными отходами. Это означает, что если теоретически 1 кг такой жидкости перевести в твердое состояние, то получившиеся продукты становятся промышленными отходами, которые можно использовать где угодно, их удельная активность меньше пороговой. Конечно, это справедливо, если соблюдены все остальные требования указанных норм, например, вытекающие из ограничения миграции радионуклидов и радиационного воздействия. Справедливо и обратное утверждение: если 1 кг

твердых промышленных отходов удельной активностью по ^{90}Sr , например, 10^3 Бк/кг превратить в жидкость, то они становятся радиоактивными отходами.

Это дает возможность по-иному посмотреть на обращение с радиоактивными материалами: жидкие радиоактивные среды удельной активностью ниже 10^5 Бк/кг можно не подвергать дальнейшей очистке на фильтрах, что порождает вторичные радиоактивные отходы в виде фильтрующих материалов, а переводить сразу в твердое нерастворимое состояние. Это позволит зафиксировать радионуклиды в твердой матрице и понизить (разбавить) исходную удельную активность при отверждении только в цементе в 1,5—2 раза, при отверждении в бетонных смесях — почти в 20 раз и более в зависимости от наполнителей.

Положительным свойством такого подхода, помимо изложенного, является обеспечение внутренней защищенности от внешних угроз. Получившийся продукт почти сразу становится приемлемым по экологическим параметрам и не представляет интереса для террористов в силу низкой удельной активности. Можно надеяться, что технология, реализующая эту концепцию, позволит переработать большую часть всех радиоактивных материалов энергоблока, в том числе образующихся при ликвидации. При этом в качестве наполнителей можно использовать и материалы, получающиеся при фрагментации элементов энергоблока.

Таким образом, принятие соответствующей стратегии переработки радиоактивных материалов позволяет:

- оптимизировать срок пребывания радиоактивных материалов на площадке АС с учетом проектного срока эксплуатации энергоблока;

- вовремя освобождать места для радиоактивных материалов, поступающих с эксплуатируемых и ликвидируемых объектов АС;

- минимизировать и стабилизировать площади, требуемые для обращения с радиоактивными материалами, что исключит процесс омертвления площадки на исторические периоды.

Это же касается и утилизации твердых радиоактивных материалов. Они также могут быть классифицированы по категории «длительность существования радиационного фактора». Расчетные исследования изменения удельной активности основных конструкций ВВЭР-1000 после его окончательного останова показывают, что удельная активность таких внутрикорпусных устройств, как выгородка и шахта, остается высокой даже после 160 лет выдержки. Очевидно, что эти и подобные им элементы реакторной установки должны быть вывезены на захоронение. Их переработка в транспортабельный вид должна включать процессы дистанционного фрагментирования и помещения в специальные транспортные контейнеры. В то же время удельная активность корпуса реактора и материала бетонной шахты достаточно быстро приближается к показателям, характеризующим их как материалы, имеющие приемлемое время существования радиационного фактора. Эти материалы должны оставаться на площадке АС и подвергаться переработке в целях их превращения в промышленные отходы или даже во вторсырье. Аналогичная ситуация и с РБМК. Масса высокоактивных конструкций после его окончательного останова составляет примерно половину массы реактора и со временем быстро снижается [7].

Предлагаемый подход позволяет сделать АС безотходным по радиационному фактору производством и обладает другими привлекательными свойствами:

освобождение на площадке АС места для строительства замещающих энергоблоков;

сокращение затрат на строительство внешних хранилищ радиоактивных материалов;

внутренняя защищенность от внешних угроз, включая терроризм.

Требования к новым проектам. Исходя из основной идеи — сохранение площадки как исключительной ценности ядерно-энергетической технологии, проекты энергоблоков, особенно сооружаемых на новых площадках, должны удовлетворять следующим требованиям:

образование жидких радиоактивных сред и твердых радиоактивных материалов должно быть минимизировано;

обращение со всеми радиоактивными веществами должно быть нацелено на изначально оптимальную сортировку по фактору «длительность существования радиационного фактора»;

технология переработки радиоактивных материалов, имеющих неприемлемо длительное время существования радиационного фактора, должна предусматривать оптимальное уменьшение физического объема;

технология переработки радиоактивных материалов в промышленные отходы должна предусматривать оптимальное применение концепции «разбавление с фиксацией»;

генеральный план АС должен предусматривать место для размещения специального комплекса по переработке всех радиоактивных материалов, образующихся как при эксплуатации, так и ликвидации энергоблоков, в промышленные отходы и/или вторсырье.

Выводы. Площадка АС представляет собой исключительную ценность ядерно-энергетического комплекса и должна использоваться для нужд ядерной энергетики столь долго, сколько долго будет существовать ядерно-энергетическая программа нашей страны.

Деятельность на заключительной стадии жизненного цикла энергоблока должна быть увязана с жизненным циклом площадки и задачами отрасли. Целесообразно эту деятельность рассматривать как новый инвестиционный процесс с соответствующим современным порядком его организации.

Основные расходы на ликвидацию объектов окончательно остановленного энергоблока предлагается включать в смету на сооружение нового объекта на этом месте, в частности, в статьи на подготовительные работы, создание соответствующей инфраструктуры и др., затраты на работы, связанные с переводом окончательно остановленного энергоблока АС в ядерно-безопасное состояние, — в смету затрат на эксплуатацию действующих на площадке АС энергоблоков.

Представляется целесообразным существующие ресурсы, выделяемые на новые виды технологии обращения с радиоактивными отходами, переориентировать на разработку технологии, позволяющей обеспечить глубокую очистку жидких радиоактивных сред от цезия и кобальта с максимальным концентрированием этих изотопов в твердой матрице в целях уменьшения вывозимых объемов на захоронение.

Новые проекты АС должны быть нацелены на сохранение площадки АС как исключительной ценности ядерно-энергетической отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копытов И., Ноздрин Г., Былкин Б. Инвестиции в «зеленую лужайку». — Журн. Росэнергоатома, 2005, № 9, с. 26—29.
2. Arzhaev A., Evropin S., Savchenko V., Petrov A. Comments on effective technologies of PLIM elements application at Russian NPPs. — In: IAEA Intern. Symp. on Nucl. Power Plant Life Management. Budapest, Hungary, 4—8 Nov. 2002, CD, IAEA-CN-92/50.
3. Зимин В.К. Вывод из эксплуатации блока как один из инструментов управления сроком службы площадки многоблочной АЭС. Тезисы докл. 14-й ежегодной конф. ЯО России. 30 июня—4 июля 2003, Удомля, Калининская АЭС, с. 132.
4. Былкин Б.К., Зверков Ю.А., Шапошников В.А. и др. Стратегия вывода из эксплуатации первого энергоблока Ленинградской АЭС. — Известия Академии пром. экологии, 2001, № 1, с. 67—81.
5. Пятунин Б.А., Вайнштейн В.В., Юрченко Ю.Ф. и др. Опыт демонтажа ядерных реакторов. — Атомная энергия, 1990, т. 69, вып. 3, с. 157—160.
6. Былкин Б.К., Цыпин С.Г., Шпицер В.Я. Некоторые особенности обеспечения радиационной безопасности при демонтаже АС. Тезисы докл. 6-й Рос. научной конф. по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок. Обнинск, 20—23 сентября 1994, т. 2, с. 181.
7. Былкин Б.К., Давыдова Г.Б., Краюшкин А.В., Шапошников В.А. Радиационные характеристики реакторных конструкций после окончательного останова АЭС с РБМК. — Атомная энергия, 2004, т. 97, вып. 6, с. 451—457.

Поступила в Редакцию 29.03.06

УДК 621.311.25 + 621.039.51

**РЕАКТОР С БЫСТРО-РЕЗОНАНСНЫМ СПЕКТРОМ НЕЙТРОНОВ,
ОХЛАЖДАЕМЫЙ ВОДОЙ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ
ПРИ ДВУХХОДОВОЙ СХЕМЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

Глебов А.П., Клушин А.В. (ГНЦ РФ — ФЭИ им. А.И. Лейпунского)

При строительстве энергоблоков АЭС 70% капитальных затрат приходится на оборудование паропроизводящей установки. При сложной тепловой схеме и низких параметрах теплоносителя к.п.д. АЭС с ВВЭР, РБМК составляет 33—35% по сравнению с 50% ТЭС. Главной задачей новых проектов является снижение удельных капиталовложений в установку, применение упрощенных схем и процессов, сокращение сроков строительства при обеспечении высокого уровня безопасности. Реакторы со сверхкритическим давлением легководного теплоносителя наиболее полно позволяют решить указанные проблемы. Простая тепловая схема (пар из реактора непосредственно идет на турбину), исключение большого количества дорогостоящего оборудования (парогенераторы, насосы, трубопроводы, арматура второго контура) приводят к снижению металлоемкости на 60%. Высокие параметры пара (давление ~25 МПа, температура 535—545 °С) и одноконтурная схема позволят получить к.п.д. установки 44%. Сокращение необходимого количества теплоносителя в активной зоне позволит располагать ТВЭЛы в тесных решетках, реактор будет иметь быстрый спектр нейтронов с коэффициентом воспроизводства около 1.