

УДК 621.311:661.185
© 1999

ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ – ПРОБЛЕМА, КОТОРУЮ НЕОБХОДИМО РЕШАТЬ

Н.В. Арсентьева, Н.М. Емельянов, С.И. Ровный
Россия, Озерск, ПО «Маяк»

Рассмотрены технические и экономические проблемы вывода из эксплуатации объектов ядерного топливного цикла. Во многих случаях, в особенности для подземных сооружений радиохимических производств, наиболее рациональным является захоронение на месте. Определены направления работ по безопасному содержанию сооружений, подлежащих выводу из эксплуатации.

Многолетняя эксплуатация предприятий ядерного топливного цикла неизбежно ставит задачу вывода из эксплуатации промышленных реакторов, АЭС, отдельных зданий и сооружений радиохимических и химико-металлургических производств, которые уже проработали предельные сроки или остановлены вследствие аварийных ситуаций. Время, когда ядерные объекты начинали строить, не думая о необходимости их демонтажа, безвозвратно ушло, и работы по выводу из эксплуатации постепенно становятся насущной необходимостью и приобретают характер задачи, которую следует решать уже сегодня.

Следует отметить, что проблема захоронения образующихся при этом радиоактивных отходов требует принятия во всех странах соответствующих политических решений и нормативных актов, обуславливающих выбор мест для захоронения, а также разработки критериев соблюдения необходимого уровня безопасности при выводе объектов из эксплуатации. К сожалению, в большинстве стран, имеющих сеть АЭС и других ядерных объектов, эти вопросы исследованы недостаточно.

В настоящее время в большинстве стран рассматривается два основных подхода к вы-

воду из эксплуатации ядерных объектов:

- полная разборка и вывоз оборудования с территории станции с последующей рекультивацией площадки;
- частичная разборка и захоронение радиоактивного оборудования непосредственно на площадке.

Первый подход является более предпочтительным с экологической точки зрения, но требует значительных физических и материальных затрат на его реализацию. Сравнимые по масштабу работы по демонтажу энергоблоков с реабилитацией промплощадки до состояния «зеленой лужайки» проведены только в Японии, США и Германии [1, 2]. При этом получен обширный опыт проведения работ, созданы и опробованы эффективные технологии и оборудование.

В 1996 году закончены работы по демонтажу японского демонстрационного энергетического реактора JPDR, который по ряду причин был остановлен в 1976 г. Работы по выводу из эксплуатации были начаты в 1981 году, а сам проект предусматривал два этапа:

- 1981–1986 гг. – создание необходимых технологий и оборудования;
- 1986–1996 гг. – демонтаж объекта.

Для демонтажа конкретного оборудования реакторной установки была разработана адекватная техника и соответствующий инструмент, обеспечивающий резку, рубку и разрушение взрывом бетонных и стальных конструкций. Использован достаточно широкий набор технических средств: подводная резка циркулярными пилами и плазменными дугowymi устройствами, механические резаки, гидромониторы с добавкой в воду абразивов, шнуровые заряды и направленные взрывы.

Трудозатраты на проведение работ составили ~400 чел. лет, коллективная эквивалентная доза — 306 чел. мЗв, причем наибольшая доза приходилась на работы по демонтажу корпуса реактора (103 чел. мЗв при трудозатратах ~28 чел. лет). В процессе демонтажа накоплено и размещено в различные транспортно-упаковочные средства 3770 т отходов различного уровня активности, включающих металл, бетон и вторичные отходы. Плановые затраты на проведение работ составили около 130 млн. долларов. Оценка объема и структуры затрат на демонтаж реакторных установок в США и Германии показала, что последние составляют 10–12% начальной стоимости строительства. Трудозатраты и, соответственно, стоимость работ несколько возрастают с увеличением времени выдержки после остановки энергоблока, но эта процедура приводит к существенному снижению коллективной дозы.

Второй подход, предусматривающий захоронение на месте, требует меньших материальных затрат и, возможно, более безопасен с точки зрения возможного радиоактивного загрязнения прилегающих территорий. Для радиохимических объектов длительная выдержка после прекращения производственного процесса нецелесообразна, поскольку основная доля активности связана с долгоживущими изотопами, однако необходимость ее может быть обусловлена технической неготовностью к проведению работ или экономическими соображениями. При этом возникает необходимость проведения мероприятий по минимизации затрат на содержание объекта (вен-

тиляция, газоочистка, отопление и др.), что, в свою очередь, может привести к повышению радиоактивных аэрозольных выбросов и ухудшению радиационной обстановки на прилегающей территории.

Радикальным средством решения этой проблемы является эффективная дезактивация оборудования и сооружений. В радиохимической промышленности и атомной энергетике накоплен значительный опыт профилактической и предремонтной дезактивации оборудования и помещений, однако, в особенности для загрязненных бетонных сооружений, возможности используемых методов неограничены. В тех случаях, когда дезактивация невозможна или требует слишком высоких затрат, для снижения вероятности уноса радиоактивных загрязнений необходимо прибегать к локализации их на внутренних или внешних поверхностях оборудования и помещений.

Одним из рациональных вариантов захоронения сооружений на месте является заполнение внутренних полостей специальным бетоном или другими вяжущими композициями. Этот вариант, возможно, может стать единственным для подземных или, расположенных в каньонах, сильнозагрязненных и не поддающихся дезактивации объектов, аналогичных емкостям-хранилищам комплексов 120/1–4 ПО «Маяк» и др. При проведении подобных работ необходимость локализации поверхностных загрязнений также очевидна.

В радиохимических производствах для локализации поверхностных загрязнений широко используются многие пленкообразующие композиции, в основном, органического происхождения, при этом накоплен значительный опыт их применения для различных целей. Однако имеющиеся технические средства их нанесения требуют присутствия персонала при проведении работ, что в случае высоких радиационных полей в помещениях либо затруднено, либо вообще недопустимо.

Одним из возможных путей упрощения технологии нанесения защитных покрытий на загрязненные поверхности в условиях высоких радиационных полей или труднодоступных

местах может быть использование вспененных связующе-смачивающих композиций. Заполнение помещения пеной, содержащей пленкообразователь, и последующее ее оседание, позволит создать на поверхности защитную пленку, предотвращающую аэрозольный унос загрязнений. Пена может быть получена с помощью пеногенераторов и пеностолов, находящихся вне загрязненного помещения. Необходимым условием заполнения объема пеной является значительное превышение производительности пеногенератора над объемной скоростью разрушения пены. Кроме этого, композиция должна хорошо смачивать поверхность, а сформировавшаяся пленка обладать высокой адгезией к ним.

Выбор вспененных композиций для локализации загрязнений требует несколько иного подхода к физико-химическим и реологическим свойствам пен, чем при использовании их для тушения пожаров или других целей. Конечной целью заполнения помещения пеной является формирование на поверхностях защитной пленки заданной толщины. На первом этапе на поверхностях будет формироваться пленка раствора, толщина которой будет определяться свойствами пенообразующего раствора и поверхности. Для раствора данного состава и конкретной поверхности можно экспериментально определить величину максимального нанесения (N_p) — массу композиции (m), удерживающуюся силами адгезии на вертикальной поверхности:

$$N_p = m/S = V_p \rho / S, \quad (1)$$

где V_p — объем раствора;
 ρ — плотность раствора;
 S — площадь поверхности.

Величина максимального нанесения должна служить критерием рациональности использования пены: масса жидкости в пене должна быть такой, чтобы при равномерном распределении ее по поверхности не происходило стекания раствора с вертикальных поверхностей.

Максимальная толщина пленки (N_p),

сформировавшейся в этих условиях будет определяться соотношением:

$$N_t = V_p \rho C / 100S, \quad (2)$$

где C — концентрация пленкообразователя в растворе, %.

В качестве основной величины, характеризующей пенообразующую способность раствора, можно принять кратность пены (K):

$$K = V_n / V_p, \quad (3)$$

где V_n — объем пены;
 V_p — объем раствора, пошедшего на образование пены.

Принимая объем пены, равным объему обрабатываемого помещения, и подставляя объем раствора из выражения (2) в уравнение (3) можно получить соотношение, связывающее характеристики пенообразующего раствора и объем обрабатываемого помещения (V):

$$KS/V = \rho C / 100N_t. \quad (4)$$

Для пенообразующего раствора определенного состава комбинация элементов в правой части выражения (4) будет величиной постоянной. Следовательно, необходимая для оптимального использования пенообразующего раствора кратность пены будет зависеть от отношения площади поверхности к объему: чем больше объем помещения данной геометрии, тем выше должна быть оптимальная кратность пены.

Предварительные исследования пен на основе сульфанола и содержащих в качестве пенообразователя жидкое стекло и поливиниловый спирт [3], показали, что линейная скорость разрушения пен не превышает 2,5 см/мин, что вполне приемлемо для практического использования при производительности стандартных генераторов высокочастотной пены в сотни и даже тысячи кубометров в минуту [4]. Однако используемый для генерации пены дисперсионный способ и качество поверхностно-активного вещества не позволили получить



Рис. Зависимость скорости разрушения пен на основе жидкого стекла (1) и поливинилового спирта (2) от времени

пены с кратностью более 100. Это обстоятельство способствовало значительному синерезису (вытеканию жидкости из межфазных пленок) на начальной стадии разрушения пен и, соответственно, нерациональному расходу композиции.

Природа пленкообразователя также оказывает существенное влияние на характер разрушения пены. На рис. приведены зависимости скорости разрушения пен на основе жидкого стекла и поливинилового спирта от времени.

Для пен на основе жидкого стекла стадия синерезиса сопровождается достаточно высокой скоростью разрушения пены. После утончения межфазных пленок пены более устойчивы к разрушению. Для пен на основе поливинилового спирта синерезис сопровождается сравнительно малой скоростью разрушения, а основную роль играет разрушение крупных пузырьков. Выравнивание дисперсного состава пены приводит к повышению ее устойчивости. Для эффективного использования пенообразующего раствора необходимо стремиться к получению мелкодисперсных однородных

пен с высокой кратностью, чтобы свести к минимуму синерезис. При этом с термодинамической точки зрения, возможно получение пен с более высокой устойчивостью.

Следует отметить, что вспениваемость растворов и стабильность пен зависят от многочисленных факторов, не всегда поддающихся учету. Для получения пен с заданными параметрами необходимо исследовать возможности более широкого круга поверхностно-активных веществ, пленкообразователей и методов генерации пен.

На территории промплощадки ПО «Маяк» находится много сооружений, находящихся в условно-законсервированном состоянии, только на территории радиохимического завода их более 30. Часть из них уже сейчас находится в неудовлетворительном техническом и экологическом состоянии и представляет опасность для окружающей среды, причем со временем ситуация будет изменяться и отнюдь не в лучшую сторону. Совершенно очевидно, что пришло время детально проанализировать эту проблему, принять стратегические решения и объединить усилия специалистов разных направлений в их реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полуэктов П.П., Суханов Л.П. Опыт Японии по снятию с эксплуатации демонстрационного энергетического реактора.// Атомная техника за рубежом. — 1997. — №9. — С.3–8.
2. Климов Ю.И. Снятие АЭС с эксплуатации — разрешимая проблема.// Атомная техника за рубежом. — 1998. — №4. — С.16–21.
3. Исследование свойств вспененных пленкообразующих композиций с целью локализации поверхностных загрязнений: Отчет/ ПО «Маяк». — Ровный С.И., Арсентьева Н.В., Емельянов Н.М., Кладченко С.Ю. — Озерск. — 1998.
4. Котов А.А., Петров И.И., Реутт В.И. Применение высокочастотной пены при тушении пожаров. — М: Изд. литературы по строительству. — 1972.