

Некоторые вопросы демонтажа основного оборудования при снятии АЭС с эксплуатации

Представлен критический анализ оборудования и технологий, предназначенных для демонтажа оборудования АЭС, снятых с эксплуатации. Показаны преимущества и недостатки этих технологий, позволяющие сделать рациональный выбор.

Ключевые слова: оборудование АЭС, демонтаж, водяная резка, электрогидравлический эффект, жидкий азот.

О. В. Корольов, Х. Ю. Чжоу

Деякі питання демонтажу основного обладнання в процесі зняття АЕС з експлуатації

Надано критичний аналіз устаткування і технологій, призначених для демонтажу обладнання АЕС, знятих з експлуатації. Показано переваги та недоліки цих технологій, що дають змогу зробити раціональний вибір.

Ключові слова: обладнання АЕС, демонтаж, різання водою, електрогідролічний ефект, рідкий азот.

© А. В. Королев, Х. Ю. Чжоу, 2015

Исчерпание технического ресурса блоков АЭС, построенных в 1970—1980 годах, определяет актуальность проблемы снятия АЭС с эксплуатации и необходимость разработки как общей концепции снятия ядерных энергетических установок с эксплуатации (которая достаточно подробно изложена в [1]), так и частных ее вопросов, таких, например, как демонтаж радиоактивного оборудования, которые требуют развития и конкретизации в плане применяемых методов и технологий. К этой проблеме в разных странах проявляется повышенное внимание [2, 3]. Так, в настоящее время в Китае изучается вопрос создания института снятия с эксплуатации ядерных энергетических установок, а в Украине принято решение о переходе к этапу снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС [4]. Цель данной статьи — рассмотреть со всех позиций предлагаемые приемы демонтажа оборудования АЭС, чтобы выделить из них наиболее рациональные и эффективные.

Демонтаж энергетического оборудования является операцией, обратной его монтажу [1]. Принципиальное отличие заключается в том, что монтаж ведется на чистом оборудовании, а демонтаж — на активированном оборудовании, причем с разной степенью активности, локализованной неравномерно по конструкции подлежащего демонтажу объекта. Кроме того, при монтаже, в процессе объединения узлов и деталей энергообъектов, образования стружки, пыли и шлама минимально, тогда как при демонтаже (разрушении) сложной конструкции подобных отходов всегда гораздо больше. Такие особенности демонтажа накладывают ограничения на выбор методов и средств его выполнения.

В частности, *абразивная резка* характеризуется выбросом активной стружки металла и абразивной пыли. *Дуговая резка* ведет к образованию большого количества дыма, содержащего, в том числе, окислы активного металла, и дает максимальный выход горячих аэрозолей. Поэтому демонтаж активного оборудования с помощью абразивной и дуговой резки требует использования специализированных систем вентиляции, которые обеспечивают локальную вытяжную вентиляцию, создающую значительную тягу непосредственно в точке реза металла. Не так давно подобная система была разработана в Украине и прошла испытание на Запорожской АЭС [4], показав хорошие аэродинамические характеристики. Однако для работы с активными аэрозолями необходим фильтр, адаптированный под это устройство, — компактный, удобный для транспортировки, переноса вдоль рабочего места и, соответственно, позволяющий работать на существенных скоростях очищаемого воздуха.

Альтернативой абразивной резке металла и бетона может стать *водяная резка* материалов. Этот вид обработки материалов получает все более широкое использование в промышленности [5, 6] и заслуживает особого внимания благодаря чистоте реза, минимальному объему удаляемого материала из области реза, а также отсутствию нагрева области реза и отсутствию пыли, свойственной абразивной резке. Конструкция устройства для реализации этой технологии состоит из двух насосов высокого давления (основного на 2000...2500 атм и предвключенного на 400...800 атм), гибких шлангов сверхвысокого давления и алмазного сопла диаметром 0,6...1,0 мм (имеющего ресурс порядка месяца). Технология основана на свойствах воды приобретать повышенную твердость на скоростях более 25...30 м/с, тогда как скорость воды на выходе из сопла устройства — более 700 м/с. В некоторых изданиях этот



Рис. 1. Деталь, вырезанная из стали гидроабразивной резкой

вид резки металла называется *гидроабразивной*. Однако заметим, что добавка абразива (кварцевого песка или наждака мелких фракций) имеет основной целью обеспечить не столько глубину, сколько чистоту реза (рис. 1). Поэтому для резки демонтируемого оборудования добавка абразива в водяную струю является необязательной процедурой и, скорее, вредной, так как увеличивает количество активных продуктов реза, тем более что при резке бетона абразив и так попадает в струю благодаря разрушению бетона. Одним из факторов, усложняющих применение данной технологии для демонтажа оборудования, могут стать цена и габариты устройства. Габариты обусловлены размерами насосов высокого давления; чтобы снизить их, необходимы гибкие шланги сверхвысокого давления диаметром 20...30 мм и длиной не менее 30...50 м, обеспечивающие большую свободу выполняющему резку рабочему. Другой фактор, ограничивающий применение водяной резки, — большое количество активной воды, которую нужно собирать и фильтровать для организации замкнутого цикла по воде.

Технология демонтажа, берущая начало от одной из самых старых технологий разрушения камня, может основываться на *электрогидравлическом* эффекте [7]. Еще в древности египтяне сверлили в камнях канал, заполняли его водой, закрывали деревянной пробкой и ударом по пробке создавали в воде гидроудар, который и разрушал камень. В случае электрогидравлической технологии гидроудар создается специально сформированным импульсом электрического (искрового, кистевого и других форм) разряда, вокруг зоны образования которого возникает сверхвысокое гидравлическое давление, способное совершать полезную механическую работу, достаточную для разрушения бетонных конструкций. Достоинством такого метода разрушения материала, по сравнению со взрывным методом, является как отсутствие травмоопасных осколков, летящих с большой скоростью от эпицентра взрыва, так и пылевых продуктов разрушения камня, образующихся в изобилии при взрыве.

Без сомнения, среди технологий демонтажа оборудования АЭС будет *кислородная (автогенная) резка стали* (рис. 2). Этот вид резки стали хорошо известен и многократно опробован при ремонте и монтаже энергетического



Рис. 2. Резка корпуса реактора кислородным резаком (Крымская АЭС)

оборудования. Необходимость упомянуть еще раз о нем обусловлена появлением рекомендаций по резке корпуса реактора *плазморезом* (рис. 3), поскольку корпус реакторов изнутри плакирован аустенитной нержавеющей сталью, которая не режется кислородным резаком.

Однако схема на рис. 3 имеет ряд недостатков. Давление используемого при резке воздуха составляет не менее 6 атм, в результате чего выброс металла и большей части дыма происходит в сторону, противоположную резу. Жидкий металл крепко садится при этом на бетон шахты, а дым выходит в гермообъем. Таким образом, активность не локализуется, а, наоборот, распространяется на другое оборудование и конструкции шахты. Более целесообразно резку корпуса проводить кислородным резаком с внешней стороны корпуса. В таком случае жидкий металл и дым будут попадать внутрь корпуса реактора, где металл и дым из области реза могут быть легко локализованы. Нержавеющая плакировка в данном случае будет легко прорезана жидкой сталью. Такой способ резки нержавеющей стали иногда применяется при отсутствии плазмореза; при этом на нержавеющую сталь укладывают лист стали Ст. 3–5 и режут такой «бутерброд» кислородной резкой. Недостатком является менее ровная линия реза нержавеющей стали и отходы «жертвенного» листа перлитной стали, однако для операции демонтажа подобные недостатки несущественны.

Еще один метод демонтажа основного оборудования АЭС, в частности парогенератора [8], — это демонтаж с помощью *жидкого азота*, который при нормальном давлении имеет температуру кипения 77,35 К (–196,2 °С). Погружение металлоконструкций в жидкий азот приводит металл к хладоломкости, поэтому он может быть разрушен сравнительно малыми ударными усилиями. Недостатком такой технологии является низкая скрытая теплота парообразования жидкого азота — 197,6 кДж/(кг·К), которая более чем в 10 раз меньше теплоты парообразования воды. Так как температура охрупчивания стали 20 равна –50 °С, а теплоемкость — 0,42 кДж/(кг·К), на охлаждение 1 кг стали для приведения ее в состояние хладоломкости потребуется около 0,15 кг азота. При этом не учитывается потеря жидкого азота от разбрызгивания на первых минутах контакта с «горячим» металлом. Тем не менее, учитывая

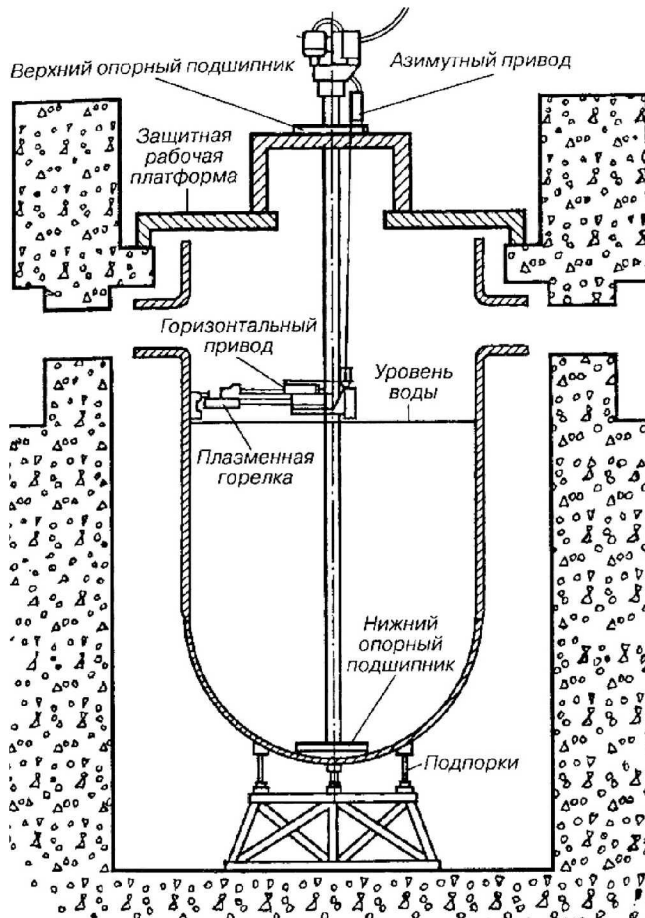


Рис. 3. Схема резки корпуса реактора плазменной резкой

цену на жидкий азот в сосудах Дюара — около 15 грн/кг, — приведение 1 кг стали к жидкому состоянию будет стоить от 2,25 грн, т. е. по ценовому критерию такая технология вполне может рассматриваться как один из вариантов демонтажа оборудования АЭС.

Выводы

Показаны недостатки предлагаемых в литературе отдельных технологий демонтажа основного оборудования АЭС, в частности недостатки плазменной резки корпуса реактора. Для разрушения бетонных конструкций предложено воспользоваться электрогидравлическим эффектом. Выполнена экономическая оценка технологии разрушения корпусов парогенераторов жидким азотом. Показано, что эта технология приемлема по стоимости и может быть рекомендована для демонтажа основного оборудования АЭС.

Список использованной литературы

1. Снятие с эксплуатации ядерных энергетических установок / А. В. Носовский, В. Н. Васильченко, А. А. Ключников, Я. В. Яценко. — К. : Техніка, 2005. — С. 204—224.

2. Снятие АЭС с эксплуатации: проблемы и пути решения / О. Э. Муратов, М. Н. Тихонов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=1198>
3. Деятельность ГП «НАЭК «Энергоатом» по подготовке к снятию с эксплуатации действующих АЭС Украины. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.energoatom.kiev.ua/ru/actvts>
4. Чернобыльская АЭС официально перешла к этапу снятия с эксплуатации // Новое время. — 11.04.2015.
5. Патент № 18770 Украина, МПК (2006) F24F 7/08 B08B 15/00. Приливно-втяжной пристрой «Торнадо» / Майстренко М. П. — Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
6. Эрозия : Пер. с англ. / Эванс А., Рафф А., Видерхорн С., Эдлер У., Брантон Дж., Рочестер М., Прис К., Мерч К., Вайс Б., Саммерс Д. Под ред. Прис К. — М. : Мир, 1982. — 464 с.
7. Гидрорезание судостойтельных материалов / Р. А. Тихомиров, В. Ф. Бабанин, Е. Н. Петухов, И. Д. Стариков, В. А. Ковалев. — Л. : Судостроение, 1987. — 164 с.
8. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. — Л. : Машиностроение, 1986. — 127 с.
9. Патент 2134743 Российская Федерация, МПК E02D9/04. Способ разделения на части трубчатых металлоконструкций под водой и устройство для его осуществления / Кузнецов Б. А., Осипенко В. В., Палий О. М., Пашин В. М.; патентообладатель Центр. науч.-исслед. ин-т им. акад. А. Н. Крылова; опубл. 20.08.1999.

References

1. Nosovsky, A.V., Vasilchenko, V.N., Kliuchnikov, A.A., Yashenko, Ya.V. (2005), "Decommissioning of Nuclear Facilities" [Sniatitie s ekspluatatsii yadernykh energeticheskikh ustanovok], Kyiv, Tekhnika, pp. 204—224. (Rus)
2. Muratov, O.E., Tikhonov, M.N., "NPP Decommissioning: Problems and Solutions" [Sniatitie AES s ekspluatatsii: problemy i puti resheniia], available at: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=1198>
3. Activity of NAEK Energoatom on Decommissioning of Operating Ukrainian NPPs [Deiatelnost GP NAEK Energoatom po podgotovke k sniatiiu s ekspluatatsii deistvuiuschikh AES Ukrainy], available at: <http://www.energoatom.kiev.ua/ru/actvts>
4. Chornobyl NPP Officially Transferred to Decommissioning Stage [Chernobylskaia AES ofitsialno pereshla k etapu sniatia s ekspluatatsii], *Novoie Vremia*, 11 April 2015. (Rus)
5. Maistrenko, M.P., "Patent No. 18770 Ukraine, MPK (2006) F24F 7/08 B08B 15/00. Inlet Outlet Device Tornado" [Pryplyvno-vytiazhnyi prystrii "Tornado"], Published on 15 November 2006, *Bul. No. 11*. (Ukr)
6. Evans, A., Ruff, A., Wiederkhorn, S. et al. (1982), "Erosion" [Eroziia], Moscow, Mir, 464 p. (Rus)
7. Tikhomirov, R.A., Babanin, V.F., Petukhov, Ye.N., Starikov, I.D., Kovaliov, V.A. (1986), "Hydrocutting of Shipbuilding Materials" [Gidrorezaniie sudostroitelnykh materialov], L., Sudostroiennii, 164 p. (Rus)
8. Yutkin, L.A. (1986), "Electrohydraulic Effect and Its Industrial Use" [Elektrogidravlicheskiy effect i ego primeneniie v promyshlennosti], L., Mashinostroiennii, 127 p. (Rus)
9. Kuznetsov, B.A., Osipenko, V.V., Paliy, O.M., Pashin, V.M. (1999), "Patent 2134743 Russian Federation, MPK E02D9/04. Way to Cut Tubular Metal Structures Underwater and Relevant Device" [Patent 2134743 Rossiiskaia Federatsiia, MPK E02D9/04. Sposob razdeleniia na chasti trubchatykh metallokonstruktsii pod vodoi i ustroistvo dlia ego osuschestvleniia], Patent Owner Krylov State Research Center, Published on 20 August 1999. (Rus)

Получено 24.03.2015.