

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.039.73+66.07

ПРИВЕДЕНИЕ ЭНЕРГОБЛОКА БН-350 В СОСТОЯНИЕ БЕЗОПАСНОГО ХРАНЕНИЯ

Скворцов А.И., Сафутин В.Д., Ямов В.Ю., Завадский М.И. (ВНИПИЭТ)

Опытно-промышленная реакторная установка БН-350 с натриевым теплоносителем, расположенная в Актау (Казахстан), введена в эксплуатацию в 1973 г. Проектная тепловая мощность реактора составляла 1000 МВт, электрическая — 350 МВт. Тепло, производимое реактором, использовалось для опреснения воды. Проектный срок службы БН-350 составлял 20 лет и заканчивался в 1993 г., но работы по продлению срока эксплуатации в силу экономического положения не были выполнены в полном объеме, и 22 апреля 1999 г. реактор был остановлен.

Вывод реакторной установки из эксплуатации — это комплекс административных и технических мероприятий и работ, выполняемых в целях достижения неядерного статуса реактора и снижения уровня или полного исключения радиационной опасности. Приведение реактора в состояние безопасного хранения на срок 50 лет предполагает достижение такого состояния, при котором он представляет минимальный риск для окружающей среды. Принятая правительством Казахстана концепция вывода из эксплуатации БН-350 предусматривает три этапа работ — приведение реактора в состояние длительного безопасного хранения, безопасное хранение реакторной установки в течение 50 лет под наблюдением, частичный или полный демонтаж оборудования, зданий, сооружений и захоронение радиоактивных отходов, утилизация металла и материалов.

Выбор концепции перевода БН-350 на первом этапе в состояние длительного безопасного хранения обусловлен стремлением к минимизации затрат, а также дозовых нагрузок персонала и количества радиоактивных отходов на последующих этапах работ. Вывод из эксплуатации БН-350 по принятой концепции является процессом высшего уровня сложности, характеризующегося необходимостью одновременного и последовательного выполнения работ: строительства дополнительных зданий, реконструкции или демонтажа зданий и сооружений, переработки радиоактивного натрия, жидких и твердых радиоактивных отходов. Оборудование и системы БН-350 существенно отличаются от оборудования легководных реакторов в связи с применением в качестве теплоносителя металлического натрия, обращение с которым является сложной технологической задачей, сопряженной с необходимостью обеспечения радиационной и пожаровзрывобезопасности.

Состояние БН-350 к началу 2004 г. таково:

отработавшее ядерное топливо из реактора удалено и находится в бассейнах выдержки, упаковано в шести- и четырехместные чехлы;

шесть петель первого контура заполнены радиоактивным натрием, во втором контуре пять петель заполнены натрием, одна петля дренирована;

парогенераторы отсечены (с заглушками) по всем пароводяным коммуникациям от тепловой части Мангышлакской ТЭС (ТЭЦ-2);

жидкие радиоактивные отходы объемом 4000 м³ находятся в емкостях хранилища, твердые хранятся на площадке хранилища: низко- и среднеактивные (~6000 т) загружены в траншеи с последующей засыпкой и бетонированием, высокоактивные находятся в бункерах хранилища, демонтированное оборудование — в арочном складе;

основные грузоподъемные механизмы поддерживаются в рабочем состоянии. Системы технологической и общеобменной вентиляции, охлаждения, радиационной защиты, оборотного водоснабжения, спецканализации и др. эксплуатируются в соответствии с действующим регламентом. Электрообеспечение осуществляется от Мангистауского энергокомбината. Все системы пожаротушения и пожарной сигнализации находятся в эксплуатации.

Состояние безопасного хранения реакторной установки подразумевает обеспечение ее ядерной и радиационной безопасности и сохранение целостности барьеров безопасности в течение всего срока хранения. На первом этапе вывода из эксплуатации БН-350 должен быть обоснован выбор и разработана технология приведения реактора в состояние безопасного хранения. В течение этого этапа необходимо выполнить следующие основные работы:

отработавшее топливо должно быть выгружено из реактора и размещено на долговременное хранение;

жидкометаллический теплоноситель удален из петель реактора и переработан, кондиционированные отходы натрия помещены на длительное хранение;

жидкие и твердые радиоактивные отходы переработаны, кондиционированные помещены на хранение;

определен состав эксплуатируемых, демонтируемых и консервируемых систем и оборудования, выполнены работы по демонтажу оборудования и конструкций и консервации систем, являющихся защитными барьерами;

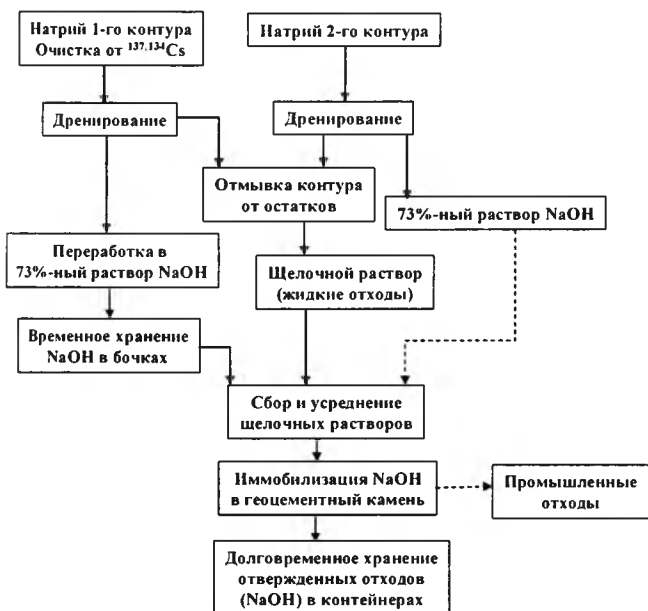
обеспечен радиационный контроль реакторной установки, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения.

К выбору технологии, используемой для выполнения указанных работ, предъявляются такие требования, как минимизация объемов (массы) кондиционированных отходов, их пригодность к захоронению, достаточная апробированность, безопасность и экономичность применяемых способов.

В связи с отсутствием в Казахстане специального хранилища принято решение о размещении отработавшего топлива на долговременное хранение на площадке «Байкал-1» Национального ядерного центра (г. Курчатов). Отработавшее топливо транспортируется в металлобетонных упаковочных контейнерах. В связи с необходимостью приобретения большого числа транспортных контейнеров и комплектов хранения капитальные затраты на вывоз отработавшего топлива с территории Мангистауского энергокомбината составят не менее 2412 млн руб., текущие затраты за период 2003—2014 гг. — до 193 млн руб. (в ценах III кв. 2004 г.).

Обращение с отработанным натриевым теплоносителем. Обращение с отработанным натрием является наиболее сложной технологической задачей, так как переработка жидкого натрия и его хранение связаны с опасностью возгорания и взрыва вследствие выделения водорода при взаимодействии натрия с водой. В настоящее время еще нет достаточно апробированной технологии переработки большого количества радиоактивного натрия и кондиционирования продуктов его переработки для длительного хранения. Удельная активность натрия первого контура на 1 января 2003 г. составляла $\sim 2 \cdot 10^8$ Бк/кг, при этом основной вклад (97%) в активность вносит ^{137}Cs . Для уменьшения мощности дозы при обращении с натрием первого контура и упрощения его последующей переработки целесообразно перед дренированием очистить натриевый теплоноситель от цезия. Для этой цели наиболее рационально использовать технологию, предложенную Аргоннской национальной лабораторией (США) [1]. Технология, опробованная в процессе удаления цезия из натрия в EBR-2, основана на его выведении сорбцией на графите марки RVC, размещенном в ловушках. Очистку проводят до достижения активности ^{22}Na 1—3 МБк/кг. После очистки натрий дренируют с помощью штатных и дополнительных устройств и подают на установку переработки. Остатки натрия из корпуса реактора и петли первого и второго контуров удаляют методами гидрокарбонизации (обработка влажным углекислым газом) и парогазовой обработки (смесями водяного пара с азотом) с окончательной отмывкой деминерализованной водой.

Дренированный натрий подлежит кондиционированию в целях долговременного хранения и захоронения. Натрий кондиционируется посредством растворения расплава в концентрированном щелочном растворе (способ разработан Аргоннской лабораторией [1]). Технология апробирована при кондиционировании 16,6 т сплава Na—K блока EBR-1 и натрия EBR-2. Жидкий натрий инжектируют с расходом 120 л/ч в кипящий 69—73%-ный раствор NaOH в атмосфере азота. Отходящие газы содержат 32% водорода, 13% азота и 55% водяного пара, примеси NaOH и ^{137}Cs (~ 500 Бк/м³). Поэтому установка переработки натрия должна быть оборудована системой очистки отходящих газов и сжигания водорода. Полученный 73%-ный раствор NaOH загружают в бочки для временного хранения и далее перерабатывают в геоцементный камень [2] для длительного хранения и захоронения (по технологии, отрабатываемой в настоящее время специалистами Казахстана). Общая схема переработки отработанного натрия представлена на рис. 1.



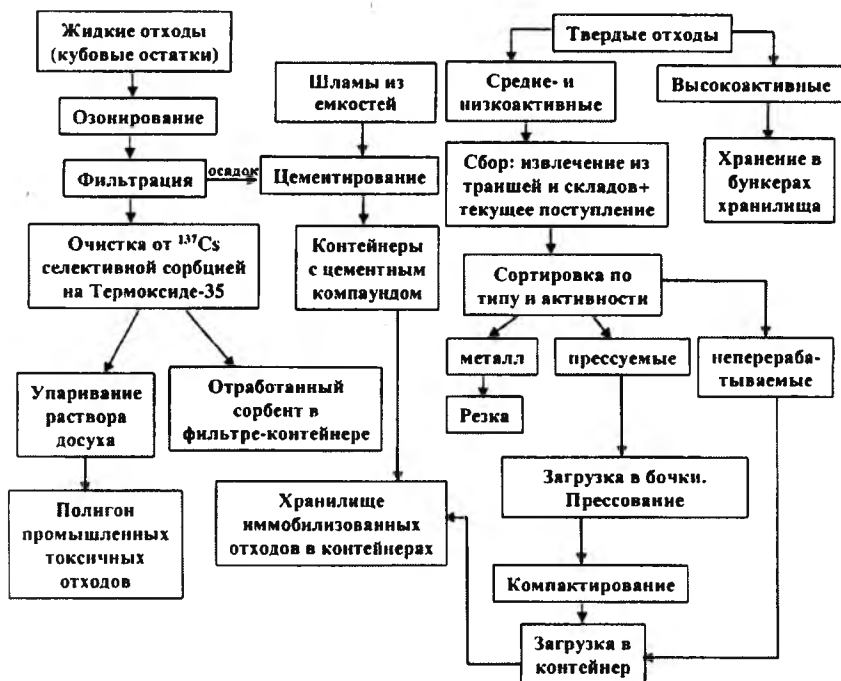
Р и с. 1. Переработка натриевого теплоносителя первого и второго контуров БН-350

бент в фильтре-контейнере направляют на долговременное хранение, очищенный фильтрат удельной активностью на уровне минимально значимой упаривают досуха, сухой остаток захоранивают на полигоне токсичных промышленных отходов. Шламы из емкостей цементируют, помещают в невозвратные защитные контейнеры и направляют в хранилище. Схема обращения с радиоактивными отходами приведена на рис. 2.

Если на первом этапе очистки от цезия натрий первого контура будет очищен до минимально значимой активности, то натрий первого и второго контуров может перерабатываться совместно и захораниваться как промышленные отходы.

Работы по удалению и кондиционированию натрия предполагается выполнить в течение 2006—2009 гг. На сооружение здания и установок переработки натрия по оценкам капитальные затраты составят 458 млн руб., текущие затраты за 2003—2014 гг. — 281,7 млн руб.

Обращение с радиоактивными отходами. Жидкие радиоактивные отходы, накопленные в процессе эксплуатации (кубовые остатки среднего и низкого уровня активности), очищают от цезия на установке ионоselectивной сорбции (сорбент Термоксид-35) [3, 4]. Отработанный сор-



Р и с. 2. Обращение с радиоактивными отходами на первом этапе вывода из эксплуатации БН-350

Твердые радиоактивные отходы (среднего и низкого уровня активности), извлеченные из траншей и образующиеся при выводе из эксплуатации, сортируют по материалам, типу и активности. Их загружают в бочки и прессуют на установке производительностью 1—3 м³/ч, бочки компактируют и помещают в невозвратные защитные контейнеры. Неперерабатываемые твердые отходы размещают в таких же контейнерах и направляют в хранилище. Для обращения с отходами предусматривается строительство комплекса переработки жидких и комплекса переработки и хранения твердых отходов. Для размещения высокоактивных отходов предполагается реконструкция имеющегося хранилища. Капитальные затраты на обращение с отходами составят 1300 млн руб., текущие за 2003—2014 гг. — 453,8 млн руб. (в ценах III кв. 2004 г.).

Общая сумма капитальных затрат на первом этапе вывода из эксплуатации БН-350 составит около 4776 млн руб., текущие затраты — 2110 млн руб. Сумма текущих затрат на втором этапе — безопасное хранение в течение 50 лет оценена в размере 3530,65 млн руб. Основная доля капитальных затрат первого этапа относится к обращению с отработавшим топливом (51,2%) и переработке радиоактивных отходов и натрия (36,8%). В текущих затратах расходы на переработку отходов и натрия составляют около 35%.

В результате выполнения намечаемого комплекса работ отработавшее топливо будет вывезено и помещено на длительное хранение. Твердые отходы контейнеризованы, жидкие и металлический натрий переработаны, отверждены и также контейнеризованы. Контейнеры помещены на длительное хранение в специально построенное хранилище. Безопасность длительного хранения обеспечена наличием трех барьеров: цементная матрица, стенки контейнера и хранилища. Безопасность хранения БН-350 обеспечена удалением из него отработавшего топлива, радиоактивного теплоносителя и отходов, дезактивацией оборудования, систем и помещений, герметизацией систем реактора, консервацией незадействованного оборудования. В течение всего периода хранения реактор находится под постоянным наблюдением и контролем. Таким образом, состояние безопасного хранения БН-350 достигается и основная задача первого этапа вывода из эксплуатации будет решена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов А.И., Сафутин В.Д., Ямов В.Ю., Завадский М.И. Вывод из эксплуатации РУ БН-350. Опыт проектирования. Тезисы докл. конф. «Ядерные энергетические технологии с реакторами на быстрых нейтронах». Обнинск, 9—10 декабря 2003 г. ФЭИ, с. 121.
2. Коновалов Э.В., Ластов А.И., Малумян И.В. и др. Иммобилизация радиоактивных отходов отверждением в геоцементные камни. — В сб.: XV Менделеевский съезд по общей и прикладной химии «Радиохимические проблемы в ядерной энергетике и при конверсии производства». Обнинск, 31 мая — 5 июня 1993 г. ФЭИ, 1994, ч. I, с. 273—280.
3. Шарыгин Л.М., Муромский А.Ю., Моисеев В.Е. Сорбционная очистка жидких радиоактивных отходов АЭС. — Атомная энергия, 1997, т. 83, вып. 1, с. 17—23.
4. Савкин А.Е., Балдов А.Н., Сластеников Ю.Т. и др. Оценка возможности переработки ЖРО, накопленных на реакторе БН-350. Тезисы докл. 3-й Рос. конф. по радиохимии. Ноябрь 2000 г. СПб, НПО им. В.Г. Хлопина, с. 147—148.

Поступило в Редакцию 9.07.04

УДК 621.376.234

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ Si(Li)-ДЕТЕКТОРОВ С БОЛЬШИМ ОБЪЕМОМ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ

*Муминов Р.А., Раджапов С.А., Сагындыков Н.А., Нурбаев К.М.
(Физико-техн. ин-т НПО «Физика—Солнце» АН РУз)*

Для решения некоторых задач ядерной спектроскопии требуются полупроводниковые детекторы с большим объемом рабочей области. Создание таких детекторов стало возможным в связи с успехами в выращивании монокристаллов кремния большого диаметра с необходимой совокупностью