

УДК 621.039.58

КОНТЕЙНЕРЫ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО УРОВНЯ АКТИВНОСТИ

Сорокин В.Т., Демин А.В., Кашеев В.В., Ирошников В.В.
(ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ»)
Гатауллин Р.М., Меделяев И.А. (ОАО «345 механический завод»)
Перегудов Н.Н. (ОАО «Концерн Росэнергоатом»)
Шарафутдинов Р.Б., к.т.н. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

Описаны конструкции контейнеров для размещения низко- и среднеактивных отходов, применяемые на объектах использования атомной энергии. Представлена информация о новых типах контейнеров.

Ключевые слова: контейнер, радиоактивные отходы, модуль.

CONTAINERS FOR RADIOACTIVE WASTE LOW AND MEDIUM ACTIVITY LEVEL

Sorokin V.T., Demin A.V., Kascheyev V.V., Iroshnikov V.V.
(Open Society «Leading research institute «VNIPIET»)
Gataullin R. M., Medeljaev I.A. (PJSC «345 mechanical plant»)
Peregudov N.N. (Open Society «Concern Rosenergoatom»)
Sharafutdinov R.B., Ph. D. («SEC NRS»)

Constructions of containers for arranging low- and medium-active waste, uses of an atomic energy applied on plants are described. There is presented information on new types of containers.

Key words: the container, radioactive waste, the module.

С 11 июля 2011 г. в Российской Федерации вступил в силу Федеральный Закон № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который на законодательном уровне регулирует отношения в области обращения с радиоактивными отходами (РАО).

В данном законе сформулировано требование о том, что все РАО подлежат обязательному захоронению в пунктах захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО).

Все виды деятельности, связанные с захоронением РАО, должен осуществлять национальный оператор. В числе обязанностей национального оператора – прием кондиционированных отходов на захоронение, соответствующих критериям приемлемости отходов (КПО) для данного пункта

захоронения.

При разработке КПО для упаковок должны учитываться [1]:

- удельная активность РАО, суммарная активность упаковки РАО, суммарная активность альфа- и бета- (гамма) излучающих радионуклидов в упаковке, радионуклидный состав РАО;
- мощность эквивалентной дозы от упаковки РАО;
- поверхностное загрязнение упаковки РАО;
- массогабаритные параметры, ограничение веса и объема, учитывающие грузоподъемность механизмов и компоновочные решения сооружений ПЗРО;
- структурная стабильность формы РАО и другие требования.

В связи с этим стадия кондиционирования РАО,

предусматривающая получение упаковки, пригодной для хранения, транспортирования и захоронения, играет важную роль, поскольку должна одновременно учитывать специфику переработанных низко- и среднеактивных отходов, а также требования последующих стадий обращения с упаковками. Особенностью РАО является многообразие видов и большой срок их потенциальной опасности, исчисляемый от нескольких десятков до нескольких сотен лет. Этим объясняются высокие требования к контейнерам для размещения переработанных или подготовленных к кондиционированию твердых или отвержденных РАО.

В практике обращения с РАО низкого и среднего уровня активности в зарубежных странах наибольшее распространение получили металлические, а в последнее время железобетонные контейнеры, причем последние рассматриваются как невозвратные защитные контейнеры, пригодные для длительного хранения и захоронения РАО. Это обусловлено хорошими защитными свойствами бетона и его устойчивостью к внешним факторам воздействия.

В середине 90-х гг. в Российской Федерации в качестве одного из видов упаковочных комплектов для длительного хранения и захоронения РАО были предложены невозвратные защитные контейнеры из композиционных материалов на основе армированного бетона. Первым представителем этого

класса контейнеров стал контейнер НЗК-150-1,5П, разработанный специалистами ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», ОАО «345 механический завод», ОАО «26 ЦНИИ» по заданию ОАО «Концерн Росэнергоатом». Контейнер предназначен для размещения в нем четырех бочек объемом 0,2 м³ каждая, или 1,5 м³ твердых или отвержденных среднеактивных отходов. Контейнер разработан с учетом нормативных требований для стадий длительного хранения, транспортирования и захоронения [2,3].

Последующие модификации упаковочных комплектов типа НЗК с унифицированными параметрами разрабатывались уже с учетом специфики конкретных видов отходов, методов их переработки и размещения в контейнере. К ним относятся контейнеры для солевого плава НЗК-150-1,5П(С), ионообменных смол НЗК-150-1,5П (ИОС), графита НЗК-150-1,5П с металлическим вкладышем, а также для низкоактивных отходов НЗК-Радон. При одинаковых внешних размерах упаковочные комплекты отличаются наличием различных металлических вставок, толщиной стенок, различным исполнением конструкции крышки.

В табл. 1 представлена характеристика разработанных и изготавливаемых контейнеров типа НЗК в ОАО «345 механический завод». На рис. 1 показан внешний вид контейнера НЗК-150-1,5 П.

Таблица 1

Характеристики контейнеров

Обозначение типа	Способ загрузки	Полезная емкость, м ³	Габаритные размеры, мм	Масса порож., т	Масса с отходами, т
НЗК-150-1,5П	В бочках	0,8	1650×1650×1375	4,3	7,3
НЗК-150-1,5П	Наливом	1,5	1650×1650×1375	4,3	7,3
НЗК-150-1,5П (С)	Наливом	1,15*	1650×1650×1375	4,5	7,3
НЗК-150-1,5П (ИОС)	Засыпкой	1,5	1650×1650×1375	4,3	5,5
НЗК-150-1,5П (ИОС)	В емкости	1,15*	1650×1650×1375	4,3	6,0
НЗК-Радон	В бочках, ТРО	1,9	1650×1650×1340	4,0	6,5

* при коэффициенте заполнения 0,9 (полный объем встроенной ёмкости – 1,25м³)



Рис. 1. Контейнер НЗК-150-1,5П с вкладышем для отходов реакторного графита

На этом же заводе для хранения и захоронения низкоактивных отходов разработаны и выпускаются металлические контейнеры КМЗ по внешним габаритам идентичные бетонным контейнерам НЗК-150-1,5П, а также контейнеры КРАД и КО-1340.

Контейнер КМЗ предназначен:

- для сбора и промежуточного хранения твердых или отвержденных РАО низкой и средней удельной активности;
- для транспортирования РАО к месту их переработки и кондиционирования;
- для приготовления упаковки кондиционированных РАО путем пропитки твердых отходов цементным раствором;
- для размещения кондиционированных РАО, длительного хранения (до 50 лет), транспортирования и захоронения в ПЗРО.

Характеристика контейнеров КМЗ представлена в табл. 2, внешний вид – на рис. 2.

Контейнеры КРАД-1,36 и КРАД-3,0 предназначены для размещения твердых РАО (ТРО) и отвержденных РАО с целью хранения или размещения

в ПЗРО для захоронения. Основные параметры контейнеров КРАД-1,36 и КРАД-3,0 представлены в табл. 3, контейнер КРАД-3,0 с устройством для омоноличивания ТРО – на рис. 3.

Контейнер КРАД-1,36 выпускается в двух исполнениях:

- КРАД-1,36 – предназначен для сбора и промежуточного хранения ТРО, их перевозки и размещения в контейнерах типа НЗК-150-1,5П и НЗК-Радон на специализированных предприятиях и выполняет функцию вкладыша (первичного упаковочного средства);
- КРАД-1,36Т – предназначен для размещения ТРО и их омоноличивания путем пропитки цементным раствором за счет специальной системы кондиционирования, перевозки отвержденных РАО и окончательной изоляции на специализированных предприятиях.

По требованию Заказчика возможен вариант изготовления контейнера КРАД-3,0 с системой кондиционирования для приготовления кондиционированных форм РАО путем омоноличивания специальными растворами на основе цемента.

Таблица 2

Характеристики контейнера КМЗ

№ п/п	Параметр	Значение
1	Вес пустого КМЗ, кг	1160±20
2	Вес КМЗ с отходами, кг, не более	10000
3	Габаритные размеры (L×B×H), мм	1650×1650×1375
4	Внутренний объем контейнера КМЗ, м ³	3,1
5	Количество ярусов при штабелировании	не более 6
6	Количество устанавливаемых бочек V-200 л, шт.	5
7	Назначенный срок эксплуатации КМЗ	не менее 50 лет



Рис. 2. Контейнер КМЗ

Таблица 3

Характеристики контейнеров КРАД

№ п/п	Параметр	Значение	
		КРАД-1,36	КРАД-3,0
1	Емкость, м ³	1,36	3,0
2	Габаритные размеры, L×B×H, мм	1280×1280×900	2620×1430×1080
3	Масса, кг	232	655
4	Масса с отходами, кг	от 2000 до 3140	от 4000 до 6670
5	Назначенный срок службы, лет	30	30
6	Количество ярусов при штабелировании	6	6
7	Количество устанавливаемых бочек V-200 л, шт.	4	8
8	Условия эксплуатации: - температура воздуха, °С - относительная влажность воздуха, %	от - 400° до + 400° 80	



Рис. 3. Контейнер КРАД-3,0 с устройством для омоноличивания ТРО

Контейнер КМЗ сертифицирован в системе сертификации ОИТ для ядерных установок, радиоактивных источников и пунктов хранения, а также сертифицирован в части требований, предъявляемых к промышленной упаковке типа А при транспортировании РАО.

Контейнеры КРАД сертифицированы в системе сертификации ОИТ для ядерных установок, радиоактивных источников и пунктов хранения, а также сертифицированы в части требований, предъявляе-

мых к промышленной упаковке типа 2 (ПУ-2) при транспортировании РАО НУА-II и НУА-III в соответствии с НП-053-04.

Контейнер КО-1340 предназначен для размещения солевого плава или битумного компаунда с установок отверждения жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Характеристика контейнера представлена в табл. 4.

На рис. 4 представлен внешний вид контейнера КО-1340.

Таблица 4

Характеристика контейнера КО-1340

Параметр	Значение
Внутренний объем, м ³	0,2
Масса контейнера, кг:	
пустого	71,1
с солевым плавом	456
с битумным компаундом	325
Габаритные размеры, мм:	
высота	910
диаметр	560
Допускаемая вертикальная нагрузка на контейнер при установке 10 ярусов, Н	50 274
Назначенный срок службы:	
для контейнеров с солевым плавом	15 лет
для контейнеров с битумным компаундом	30 лет



Рис. 4. Контейнер КО-1340

Разработанные в последние годы и изготавливаемые в ОАО «345 механический завод» бетонные

контейнеры типа НЗК и металлические контейнеры типа КРАД, КМЗ и КО-1340 практически закрывают потребности рынка для имеющейся номенклатуры низко- и среднеактивных отходов (табл. 5).

Развитие в последние годы новых технологий переработки РАО направлено на сокращение объема отходов, подлежащих хранению, транспортированию и захоронению, что приводит к образованию кондиционированных отходов, характеризующихся более высокими уровнями активности, чем существующие. Так, применение селективных методов очистки ЖРО приводит к образованию высокоактивных или близких к ним шламов, содержащих кобальт, и сорбентов, содержащих изотопы цезия. Некоторые технологии предполагают получение отработавших ионообменных смол с активностью, лежащей на границе между высоко-и среднеактивными отходами [4,5].

Варианты кондиционирования отходов

Номенклатура РАО	Рекомендуемый тип контейнеров	
	Для низкоактивных РАО	Для среднеактивных РАО
Цементированные РАО (кубовые остатки, смолы, шламы)	КРАД, КМЗ, НЗК-Радон	НЗК-150-1,5П
Битумированные ЖРО Солевой плав	КО 1340, НЗК-150-1,5П(С)	КО 1340, НЗК-150-1,5П(С)
Отработавшие ионообменные смолы (обезвоженные)	НЗК-Радон	НЗК-150-1,5П НЗК-150-1,5П(ИОС)
Зола от сжигания ТРО (в бочках)	КМЗ, НЗК-Радон	НЗК-150-1,5П
ТРО (прессованные, в бочках, навалом)	КРАД, КМЗ, НЗК-Радон	НЗК-150-1,5П

Разрабатываются также новые технологии отверждения концентратов, образующихся при переработке ЖРО. В числе исследуемых методов отверждения ЖРО можно назвать включение их в фосфатную керамику, магнезиально-минерально-солевые и кремний-органические композиции. Для отработавших ионообменных смол разрабатываются технологии кондиционирования без включения в цементную матрицу.

В связи с этим специалистами ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» и ОАО «345 механический завод» проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по расширению области использования разработанных конструкций контейнеров.

В разработанных контейнерах в качестве конструкционного материала используется бетон плотностью $2,4 \cdot 10^3$ кг/м³. При толщине стенок 150 мм мощность дозы у поверхности составляет 2,0 мЗв/ч и на расстоянии 1 м – 0,1 мЗв/ч, что обеспечивает безопасность персонала при размещении отходов с активностью до 10^7 Бк/кг.

В настоящее время в ОАО «345 механический завод», где осуществляется промышленное производство всех типов контейнеров НЗК, разрабатываются бетонные контейнеры для среднеактивных отходов с активностью от 10^7 Бк/кг до 10^9 Бк/кг.

С целью унификации типового ряда контейнеров конструкция бетонного контейнера для кондиционирования среднеактивных отходов принята идентичной конструкции контейнера НЗК-150-1,5П. В качестве конструкционного материала предполагается использовать армированный бетон плотностью $3,5 \cdot 10^3$ кг/м³ или $4,0 \cdot 10^3$ кг/м³.

Расчеты показали, что при размещении среднеактивных ионообменных смол с активностью по ^{60}Co , равной $0,5 \cdot 10^8$ Бк/кг, в контейнеры типа НЗК

с плотностью бетона стенок $4,0 \cdot 10^3$ кг/м³ мощность дозы у поверхности и на расстоянии 1 м составят примерно 0,5 мЗв/ч и 0,1 мЗв/ч соответственно. Следует иметь в виду, что за каждые 5 лет хранения контейнеров с такими отходами мощность дозы, обусловленная ^{60}Co , будет уменьшаться в два раза.

Мощность дозы от отходов, содержащих ^{60}Co , более чем на порядок выше мощности дозы от отходов с ^{137}Cs при равной удельной активности. Поэтому при наличии в отходах смеси радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co мощность дозы определяет ^{60}Co , если его содержание более 10%.

При использовании контейнера НЗК-150-1,5П с плотностью бетона $4,0 \cdot 10^3$ кг/м³ для размещения цементированных отходов, активность которых составляет примерно 10^9 Бк/кг и на 90% будет определяться ^{137}Cs , мощность дозы у поверхности контейнера и на расстоянии 1 м не превысит регламентированных значений.

Перспективным направлением повышения эффективности обращения с РАО является совмещение операций их переработки и кондиционирования.

Примером совмещения операций является цементирование ЖРО непосредственно в контейнерах с извлекаемой или неизвлекаемой мешалкой [6,7].

Наиболее эффективное решение совмещения операций переработки и кондиционирования ЖРО было найдено специалистами ОАО «345 механический завод» и ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» в модульной установке отверждения ЖРО [8].

Новизна модульной установки отверждения ЖРО заключается в использовании контейнера НЗК-150-1,5П с встроенной неизвлекаемой мешалкой для цементирования ЖРО непосредственно в

контейнере. Данная технология позволяет существенно упростить классическую схему цементирования отходов в смесителе с последующим сливом цементного компаунда в контейнеры или металлические бочки. Объем контейнера НЗК в семь раз больше стандартных металлических бочек, что позволяет во столько же раз увеличить производительность процесса, по сравнению с цементованием в стандартной бочке с неизвлекаемой мешалкой, и повысить эффективность использования объемов хранилищ. Биологическая защита контейнера НЗК позволяет отверждать отходы среднего уровня активности, а упаковка РАО отвечает критериям приемлемости для длительного хранения и захоронения.

Применение модульной установки отверждения ЖРО в контейнерах НЗК позволяет существенно повысить эффективность отверждения ЖРО за счет снижения затрат на строительство и эксплуатацию установки, увеличения производительности, простоты и надежности эксплуатации установки.

Установка характеризуется:

- мобильностью – за счет быстрого и простого приведения в рабочее состояние на месте предполагаемого использования и минимизации требований к инфраструктуре;
- высокой производительностью (2 – 3 контейнера с цементным компаундом в смену или 3,0 – 4,5 м³/смену);
- высокой степенью механизации и автоматизации процесса;
- отсутствием вторичных жидких отходов ввиду отсутствия традиционного смесителя, требу-

ющего периодической промывки.

В состав установки входят три модуля: технологический, транспортный и вспомогательный. Габариты и масса каждого модуля не превышают габариты и массу контейнера серии 1СС в транспортном положении.

Модульный тип установки, размещаемой в стандартном контейнере серии 1СС, позволяет осуществлять поставку установки автомобильным или железнодорожным транспортом в любой регион и размещать ее как в существующих зданиях, так и на специально подготовленной площадке в непосредственной близости с источником образования ЖРО.

Модуль технологический предназначен для размещения технологического оборудования (приемная емкость ЖРО, аппараты газоочистки) и вспомогательных систем.

Модуль транспортный предназначен для размещения рельсового пути с самоходной тележкой, на которой размещается контейнер с неизвлекаемой мешалкой.

Модуль вспомогательный предназначен для размещения пульта управления, монитора системы наблюдения, шкафа системы электроснабжения.

Биологическая защита технологического и транспортного модулей обеспечивается разборной навесной защитой в виде металлических листов или бетонных блоков, устанавливаемых вокруг модулей.

На рис. 5 представлена возможная компоновка оборудования установки цементирования ЖРО в контейнере НЗК-150-1,5П в стандартном металлическом контейнере.

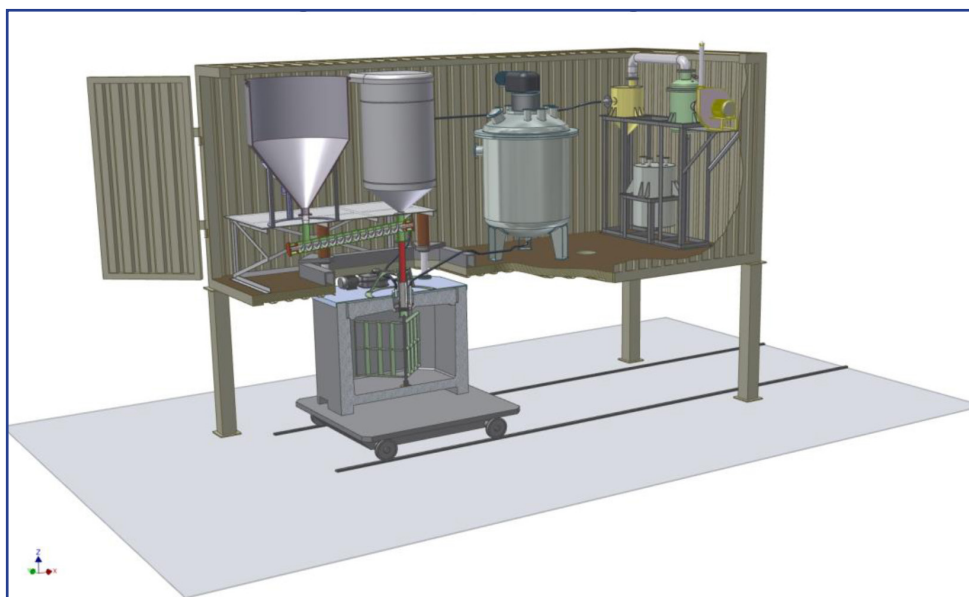


Рис. 5. Компоновка оборудования модуля цементирования ЖРО в контейнере НЗК-150-1,5П

Для проверки возможности получения цементного компаунда в контейнере НЗК-150-1,5П с неизвлекаемой мешалкой в ОАО «345 механический завод» был изготовлен прототип контейнера с фиксированной специально разработанной мешалкой и проведено опытное цементирование на имитаторах ЖРО. Результаты эксперимента подтвердили получение компаунда с необходимой плотностью во всех точках контейнера.

В ОАО «345 механический завод» разработан комплект рабочих чертежей:

- контейнера НЗК-150-1,5П со специальной мешалкой;
- тележки транспортной самоходной;
- технологической крышки с электроприводным механизмом вращения мешалки и устройством для подачи ЖРО и сухой смеси в контейнер.

На текущий момент ОАО «345 механический завод» и ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» совместно выполняют разработку конструкторской документации на модульную установку отверждения ЖРО в контейнерах типа НЗК. Изготовление, испытания и сертификация модульной установки намечены на 2013 г.

Таким образом, несмотря на наличие вопросов, требующих дополнительного исследования, можно сказать, что в настоящее время существует необходимый парк контейнеров для кондиционирования низко- и среднеактивных отходов, отвечающих требованиям действующих нормативных документов для хранения и транспортирования и разрабатываемым требованиям критериев приемлемости отходов при захоронении упаковок.

Литература

1. Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных радиоактивных отходов для их хранения и захоронения. РБ-023-02. Утверждены постановлением Госатомнадзора РФ от 10 января 2002 г. № 1.
2. Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности: монография / Гатауллин Р.М., Давиденко Н.Н., Свиридов Н.В., Сорокин В.Т., Медеяев И.А., Перегудов Н.Н., Дёмин А.Б., Баринин А.С., Волков А.С., Лашёнов С.М. Под редакцией Сорокина В.Т. – М.: Логос, 2012.
3. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. Общие технические требования. ГОСТ Р 51824-2001.
4. Бабикин Д.Н., Прохоров Н.А., Сорокин В.Т. и др. Технология переработки и хранения отработавших ионообменных смол для АЭС нового поколения. – Атомная Энергия. Октябрь 2011. Т. 111, вып. 4.
5. Сорокин В.Т., Демин А.В., Прохоров Н.А., Великина С.А., Гатауллин Р.М., Медеяев И.А., Перегудов Н.Н., Шарафутдинов Р.Б. Хранение отработавших ионообменных смол низкого и среднего уровня удельной активности в контейнерах типа НЗК без включения в матрицу. «Ядерная и радиационная безопасность», № 4, 2009.
6. Полуэктова Г.Б. Обработка и удаление радиоактивных отходов предприятий атомной промышленности зарубежных стран. – М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1990.
7. Management Low and Intermediate Level Radioactive Wastes// Proc. Intern. Symp., Stockholm. 16 – 20 May/ 1988. – v.1. – Vienna, 1989.
8. Установка для отверждения радиоактивных отходов / Пат. 113411 РФ: МПК G 21F9/00. Бюл. изобр. (2012) № 4 / Гатауллин Р.М., Медеяев И.А., Бутылкин М.Т., Свиридов Н.В., Подшивалов Д.Д., Смелков Д.А., Сорокин В.Т., Кашеев В.В., Дёмин А.В.

