

МНОГОЦЕЛЕВЫЕ УПАКОВКИ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

М. В. Радченко, Л. А. Кормилицына, В. Г. Могулян
АО «Инженерный центр ядерных контейнеров», Москва

Ю. И. Матюнин
ООО «Корпорация по ядерным контейнерам», Москва

Статья поступила в редакцию 19 сентября 2017 г.

В Российской Федерации принят ряд законодательных актов в области обращения с радиоактивными отходами (РАО), позволяющих переосмыслить используемые в настоящее время решения на более экономически эффективные, учитывающие все основные затраты жизненного цикла при обращении с потоками РАО, образующимися в результате деятельности организаций, эксплуатирующих радиационноопасные производства. Сформированная к настоящему времени российская нормативно-законодательная база позволяет обоснованно предложить общие технико-экономические подходы к многоцелевым защитным упаковкам для хранения, транспортирования и окончательной изоляции радиоактивных отходов. Приведенный в настоящей статье анализ технико-экономических характеристик упаковок для РАО основан на многолетнем опыте АО «Инженерный центр ядерных контейнеров» по разработке, изготовлению и применению унифицированного ряда упаковочных комплектов для перевозки, хранения и захоронения радиоактивных отходов различных классов (удельных активностей).

Ключевые слова: АЭС, ВАО, критерии приемлемости, многоцелевые контейнеры, НАО, радиоактивные отходы, САО, тариф на захоронение, удельная активность РАО.

Введение

В период с 2011 по 2016 год в РФ принят ряд законодательных актов в области обращения с радиоактивными отходами [1–4], позволяющих переосмыслить используемые до настоящего времени решения при обращении с потоками РАО.

Важнейшим из требований, предъявляемым к целевому состоянию создаваемой системы обращения с РАО, является требование обязательной передачи Национальному оператору на захоронение образовавшихся РАО, приведенных к состоянию соответствия с установленными критериями приемлемости. Данное условие позволяет сформировать системные требования к технико-экономическим характеристикам многоцелевых упаковок, используемых для длительного хранения, транспортирования и захоронения радиоактивных отходов, поскольку оплата захоронения радиоактивных отходов [5] устанавливается за единицу занимаемого объема могильника и включает оплату за объем самой упаковки (контейнера).

Радиоактивные отходы (РАО) образуются в результате производственной деятельности на объектах атомной отрасли, при применении радионуклидов в народном хозяйстве и медицинских учреждениях, добыче полезных ископаемых.

Основной вклад в образование радиоактивных отходов вносят предприятия атомной отрасли — это добыча и обогащение руд, предприятия топливного цикла, объекты атомной генерации, научно-исследовательские центры и т. п. В организациях, не относящихся к атомной отрасли, основным видом радиоактивных отходов являются различные закрытые источники излучений (ЗРИ) с истекшим назначенным сроком службы [6].

Для примера, суммарный годовой объем образования РАО на АЭС АО «Концерн Росэнергоатом» составляет величину ~10 000 м³ [7]. На долю ВАО (2 класс по НП-093-014) приходится около 2,5% от общего количества образующихся радиоактивных отходов, остальную часть составляют

РАО 3 и 4 классов [8]. Общее количество накопленных твердых радиоактивных отходов, находящихся в пристанционных хранилищах АЭС России по состоянию на 31 декабря 2016 года, составляет более 190,0 тыс. м³ [6]. Описание морфологии основных РАО, образующихся в результате эксплуатации объектов ядерного топливного цикла, представлено в табл. 1.

Таблица 1. Описание морфологии потоков РАО ЯТЦ [9–11]

Поток РАО (морфология)	Класс РАО
Изделия из полимеров (полиэтилена, резины и пр.)	3, 4
Металлолом (оборудование и изделия из черных и цветных металлов)	2, 3, 4
Средства индивидуальной защиты (спецодежда, обувь, бумага, ветошь и пр.)	3, 4
Отработанные ионообменные смолы, пульпы, шлаки, шламы	2, 3, 4
Смешанные отходы (строительный мусор, бетон и пр.)	3, 4
Графит	2, 3
КНИИТ, отработавшие ЗРИ	2, 3
Кубовый остаток (упариваемый солевой концентрат)	3, 4
Неорганические материалы (изделия из стекла и керамики, теплоизоляция)	3, 4

Основными технологиями кондиционирования РАО для последующего захоронения являются их компактирование (прессование, сжигание, глубокое упаривание и т. п.), сушка и иммобилизация (цементирование, «остекловывание» и т. п.). Завершающим этапом кондиционирования является размещение подготовленных РАО в радиационно-защитные упаковки (контейнеры), пригодные для хранения и/или транспортирования и последующего захоронения в пунктах окончательной изоляции.

Настоящая работа посвящена анализу затрат эксплуатирующих организаций на обращение с потоками РАО с целью поиска возможности

снижения затрат при использовании различных типов упаковок (контейнеров) для обращения с РАО вплоть до их захоронения.

Основные требования к многоцелевым упаковочным комплектам

Действующая нормативная база по обращению с РАО в Российской Федерации позволяет обеспечивать надежность и безопасность сбора, переработки, кондиционирования, перевозки, хранения и захоронения радиоактивных отходов. В соответствии с НП-093-14 удаляемые РАО подразделяются на классы (табл. 2).

Граничными условиями для обеспечения применимости контейнеров для радиоактивных отходов являются требования соответствия габаритных размеров, веса и конструктивных решений упаковок уже существующим транспортно-технологическим схемам обращения с РАО на объектах использования атомной энергии, а также соответствие упаковок требованиям нормативной базы, регламентирующим конструкцию упаковки, содержимое, сроки службы и т. п. К основным регулирующим документам относятся НРБ-99/2009 «Нормы радиационной безопасности», НП-053-16 «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов», СанПиН 2.6.1.1281-03 «Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов» и НП-093-14 «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения». Нормативные документы и граничные условия, регулирующие радиационно-защитные характеристики упаковок с РАО, представлены на рис. 1.

В процессах сбора, кондиционирования и хранения РАО на объектах использования атомной энергии требованиями НРБ-99/2009 установлено ограничение годовой эффективной дозы облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего

Таблица 2. Категории классификации твердых радиоактивных отходов [12]

Класс	Категория [13]	Удельная активность, Бк/г	Технологические особенности обращения
2	ВАО	$> 10^7$ (бета-излучающие) $> 10^6$ (альфа-излучающие)	подлежат захоронению в пунктах глубинного захоронения радиоактивных отходов без предварительной выдержки в целях снижения тепловыделения
	САО	содержащие радионуклиды с периодом полураспада более 31 года $10^4 \dots 10^7$ (бета-излучающие) $10^3 \dots 10^6$ (альфа-излучающие)	
3	САО	$10^4 \dots 10^7$ (бета-излучающие) $10^3 \dots 10^6$ (альфа-излучающие)	подлежат захоронению в пунктах приповерхностного захоронения радиоактивных отходов, размещаемых на глубине до 100 метров
	НАО	содержащие радионуклиды с периодом полураспада более 31 года $10^3 \dots 10^4$ (бета-излучающие) $10^2 \dots 10^3$ (альфа-излучающие)	
4	НАО	$10^3 \dots 10^4$ (бета-излучающие) $10^2 \dots 10^3$ (альфа-излучающие)	подлежат захоронению в пунктах приповерхностного захоронения радиоактивных отходов, размещаемых на одном уровне с поверхностью земли
	ОНАО	до 10^3 (бета-излучающие) до 10^2 (альфа-излучающие)	



Рис. 1. Нормативные документы и граничные условия, регулирующие критерий мощности эквивалентных доз излучения от упаковки с РАО

излучения, определяющее при необходимости требования к упаковкам РАО. Упаковочные комплекты для обращения с РАО должны иметь сертификаты (соответствия) на конструкцию упаковки, выдаваемые в соответствии с законом «О техническом регулировании» [14] и/или (в переходный период) сертификат соответствия в «Системе сертификации оборудования, изделий и технологий» [15].

При транспортировании радиационно-защитные контейнеры подразделяются на четыре транспортных категории [16], для каждой из которых требованиями СанПиН 2.6.1.1281-03 установлены ограничения мощности эквивалентной дозы излучения на поверхности упаковки и на расстоянии 1 м от нее, а также на внешней поверхности и на расстоянии 2 м от внешней поверхности транспортного средства. Упаковочные комплекты для транспортирования РАО должны иметь сертификаты (разрешения) на конструкцию упаковки, выдаваемые Государственным компетентным органом (ГКО) по ядерной и радиационной безопасности при перевозках ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них и сертификаты (разрешения) на перевозку упаковки с конкретизацией при необходимости транспортного средства и маршрута перевозки. Осуществление функций ГКО в Российской Федерации возложено на Госкорпорацию «Росатом».

При размещении на объекте окончательной изоляции требования к упаковкам с РАО регулируются положениями НП-093-14, которые устанавливают ограничение мощности поглощенной дозы на поверхности упаковки. Упаковочные комплекты для размещения РАО на объекте окончательной изоляции должны иметь сертификаты (соответствия) на конструкцию упаковки, выдаваемые в соответствии с законом «О техническом регулировании» [14] и/или (в переходный период) сертификат соответствия в «Системе сертификации оборудования, изделий и технологий» [15].

Российские и зарубежные упаковки для РАО

В настоящее время для обращения с радиоактивными отходами, образующимися в результате деятельности организаций, эксплуатирующих радиационно опасные производства, используется широкая номенклатура упаковочных комплектов.

В России наиболее широкое применение получили изделия из бетона (типа НЗК III, НЗК-150-1,5П разных модификаций) для РАО 2, 3 и 4 классов и тонкостенного металла (типов КМЗ, КРАД, КМ РАО и т.п.) — для РАО 4 класса (рис. 2).

АО «Инженерный центр ядерных контейнеров» при участии авторов был разработан широкий унифицированный ряд контейнеров для РАО с корпусом из высокопрочного чугуна (пример приведен на рис. 2). Для настоящего анализа были использованы упаковки из данного ряда с внешними размерами, соответствующими размерам контейнеров типа НЗК-150-1,5П (КМЗ) с толщиной стенок контейнера от 50 до 150 мм, поименованные ниже как ЗУМ (Защитная Упаковка Металлическая).

За рубежом для хранения, преимущественно низкоактивных отходов, используются похожие конструкции контейнеров из бетона и тонкостенного металла. Но также широкое применение получили многоцелевые толстостенные металлические (для ВАО и САО), слоеные (с различным видом заполнения стенок корпуса) и легкие (для НАО и ОНАО) гибкие упаковки [17]. Некоторые из конструктивных решений проиллюстрированы на рис. 3.

Многоцелевые (промежуточное хранение, транспортирование и окончательное удаление РАО) контейнеры с корпусом из высокопрочного чугуна производятся немецкой компанией Siempelkamp. Контейнеры из фибробетона производятся другим крупным поставщиком контейнерного парка для РАО — компанией Sogefibre, входящей в группу «Арева». Гибкие упаковки с использованием особо прочных



Рис. 2. Контейнеры НЗК-150-1,5П, КМЗ и АК РИ



Рис. 3. Зарубежные упаковки для РАО

геотканей производится американской компанией РасТес.

Оценка требуемой толщины радиационной защиты для разных классов РАО

Основными функциями контейнера являются изоляция (герметизация) содержимого и защита окружающей среды и персонала от радиоактивного излучения как в условиях нормальной эксплуатации, так и при аварийных происшествиях.

С целью определения необходимой толщины стенок упаковки для защиты от излучений были проведены расчеты значения мощности эффективной дозы (НРБ-99/2009) за барьерной защитой, отнесенной к удельной активности радиоактивного содержимого равномерно заполненного контейнера. Решалась одномерная задача прохождения гамма-излучения через барьерную защиту с поглощающим полубесконечным источником (консервативный вариант). Материалом источника излучения выбран диоксид кремния с равномерным распределением в нем радионуклидов (^{60}Co и ^{137}Cs в различном соотношении), который обладает сравнительно небольшой способностью к поглощению гамма-излучений и может входить в значительных количествах в состав РАО в виде цементного компаунда (консервативный вариант).

На рис. 4 представлены расчетные значения необходимой толщины защиты из бетона с плотностями 4,2 и 2,2 г/см³ (аналоги контейнеров типа НЗК-III и НЗК-150-15П) и высокопрочного чугуна ($\rho = 7,2$ г/см³) в зависимости от

величины удельной активности модельных РАО, размещаемых в заполненной упаковке при условии ограничения мощности дозы на поверхности упаковки до 10 мЗв/ч. Значение ограничения установлено для условий перевозки на правах исключительного использования в соответствии с п. 3.4 СанПиН 2.6.1.1281-03 «Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ)». Данное ограничение установлено также в соответствии с НП-093-14 для размещения РАО 3 класса в могильнике.

Из рисунка 4 видно, что упаковки из металла, материала с более высокими поглощающими свойствами, чем у бетонов, обеспечивают возможность размещения одинакового (по удельной активности) содержимого при значительно меньших толщинах стенок корпуса контейнера.

Из рис. 4 для РАО 3 класса следует, что контейнеры из толстостенного металла также обеспечивают возможность размещения сопоставимого радиоактивного содержимого при значительно меньших толщинах стенок корпуса, чем упаковки из бетона. Так, для размещения отходов, не содержащих ^{60}Co , с удельной активностью не более $1,6\text{E}+06$ Бк/г контейнер из обычного бетона ($\rho = 2,2$ г/см³) должен иметь стенку 150 мм, а упаковка из чугуна — 50 мм.

Изменения необходимой толщины защиты из обычного бетона ($\rho = 2,2$ г/см³) и металла (сталь, $\rho = 7,8$ г/см³) в зависимости от величины удельной активности (консервативно только ^{60}Co) размещаемых в упаковке отходов 3 и 4 класса

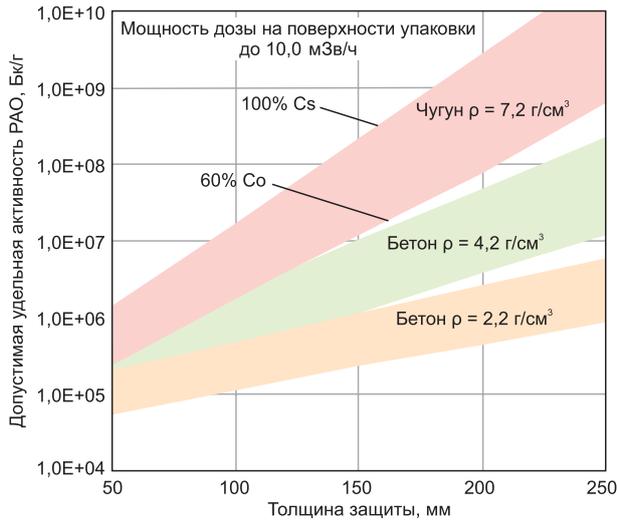


Рис. 4. Определение толщины радиационно-защитного корпуса контейнеров для возможности размещения в них отходов 2 и 3 классов

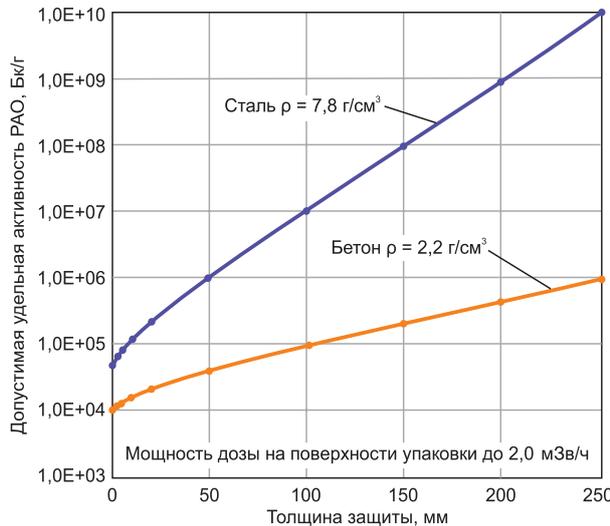


Рис. 5. Определение толщины радиационно-защитного корпуса контейнеров для возможности размещения в них отходов 3 и 4 классов

при условии ограничения мощности дозы на поверхности упаковки до 2 мЗв/ч представлены на рис. 5.

Значение ограничения установлено критериями приемлемости упаковок для размещения РАО 4 класса в НП-093-14 «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» и для условий перевозки общим транспортом соответствует п.3.4 СанПиН 2.6.1.1281-03 «Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ)». Данное ограничение мощности дозы характерно для выполненных проектов некоторых пунктов хранения, захоронения радиоактивных отходов 3 и 4 классов и для случаев перевозки РАО на общих основаниях.

Для среднеактивных отходов 3 класса рис. 5 подтверждает справедливость всех ранее сделанных выводов при анализе рис. 4. Кроме того, из рассмотрения рис. 5 можно сделать важный вывод: для низкоактивных отходов 4 класса (удельная активность радиоактивного содержимого менее 10^4 Бк/г) не требуется дополнительная радиационная защита — упаковка служит только как изолирующий от внешней среды барьер и обеспечивает удобство обращения с отходами.

Технико-экономический анализ использования упаковок

В общем случае затраты на обращение с РАО [1], [18] включают затраты на приведение РАО в соответствие с критериями приемлемости, в том числе затраты на упаковки для РАО, оплату промежуточного хранения и транспортирования контейнеров к месту приема РАО национальным оператором, и оплату захоронения исходя из объема передаваемых упаковок с РАО (объем брутто) [2].

Тарифы на захоронение различных классов РАО [5] устанавливаются на единицу объема РАО, приведенных в соответствие с критериями приемлемости для каждой категории РАО, включая объем упаковочного комплекта, и не являются оптимизируемым показателем. Оптимизация затрат жизненного цикла возможна в отношении применяемых технологий компактирования отходов и стоимости применяемых упаковок для РАО и их требуемого количества.

Экономическая эффективность использования различных упаковок для размещения заданного объема РАО определяется в общем случае таким показателем, как коэффициент полезного использования объема упаковки, рассчитываемым как отношение объема размещаемых РАО к внешнему объему самой упаковки. Так, для используемого в настоящее время в России контейнера НЗК-III этот показатель составляет величину 0,16, для массово используемых контейнеров НЗК-150-1,5П находится на уровне 0,4. Эффективность использования полезного объема у тонкостенных металлических упаковок типа КРАД, КМЗ и т. п. выше и может достигать 0,8 и более.

Как было показано выше, увеличение коэффициента полезного использования объема упаковки при сохранении ее радиационно-защитных характеристик возможно обеспечить уменьшением требуемой толщины стенок контейнера, увеличивая тем самым полезный объем изделия, что предполагает использование для изготовления упаковки конструкционного материала, имеющего более высокие радиационно-защитные свойства по сравнению с используемыми в настоящее время марками бетона.

Таблица 3. Техничко-экономические показатели упаковок для РАО

Наименование	Материал	Коэффициент полезного использования объема	Стоимость, тыс. руб.
НЗК-III	бетон $\rho = 4,2 \text{ г/см}^3$	0,16	700,0
НЗК-150-1,5П	бетон $\rho = 2,2 \text{ г/см}^3$	0,40	120,0
ЗУМ 150	чугун $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$	0,45	3 500,0
ЗУМ 120	чугун $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$	0,60	2 200,0
ЗУМ 70	чугун $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$	0,70	800,0
ЗУМ 50	чугун $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$	0,80	700,0
КРАД 3	листовая сталь	0,75	120,0
КМЗ	листовая сталь	0,8	150,0
Гибкая упаковка	геоткань	0,9	60,0

В табл. 3 приведены основные технико-экономические характеристики унифицированного ряда контейнеров ЗУМ (Защитная Упаковка Металлическая) и используемых в настоящее время контейнеров для РАО.

Из данных табл. 3 следует, что внутренняя полость контейнера из высокопрочного чугуна при аналогичных внешних габаритах упаковки будет больше, следовательно, для размещения одинакового объема РАО потребуется существенно меньшее количество контейнеров, меньше площадей хранения и меньше требуемых впоследствии перевозок к объекту окончательной изоляции РАО.

Технико-экономический анализ, представленный ниже, проведен по интегральному показателю — величине затрат на захоронение 1 м³ РАО определенного класса в упаковке данного вида, включающего суммарные затраты по статьям «Оплата захоронения» и «Затраты на упаковки для захоронения». Для упаковок РАО 2, 3 и 4 классов проанализирована чувствительность затрат к изменению тарифов на захоронение РАО и стоимости упаковок.

Возможный рост тарифов на захоронение РАО рассматривался исходя из того, что в настоящее время в российской практике стоимость услуг по захоронению РАО ниже зарубежных значений подобных тарифов [19]. Данное обстоятельство обусловлено тем, что российские тарифы на первый период регулирования учитывают краткосрочные параметры регулирования. По прошествии периода первоначально установленных значений будут применены методы долгосрочного регулирования, и в долгосрочной перспективе стоимость окончательной изоляции РАО в Российской Федерации может достичь международного уровня, так как установление тарифов с учетом долгосрочных параметров регулирования допускает включение в состав тарифа расходов на проведение работ по сооружению пунктов захоронения радиоактивных отходов соответствующих классов, предусмотренных производственной и (или) инвестиционной программами Национального оператора [2].

Потенциальное изменение стоимости упаковок рассматривалось исходя, прежде всего, из возможности организации массового производства изделий, что должно приводить к снижению цены по сравнению с мелкосерийным или единичным производством.

Необходимо отметить, что оплата будущего захоронения РАО осуществляется эксплуатирующими организациями по мере образования отходов, т. е. ежегодно. Оплата же упаковок производится организацией по мере подготовки РАО к захоронению в течение 10 лет — такой предельный срок промежуточного хранения удаляемых радиоактивных отходов, образующихся после вступления в силу Федерального закона от 11.07.2012 № 190-ФЗ, установлен для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты и являющихся собственниками таких радиоактивных отходов, а также владеющих ими на праве хозяйственного ведения и оперативного управления, органом государственного управления в области обращения с РАО Госкорпорацией «Росатом» [20]. В течение срока промежуточного хранения РАО должны быть подготовлены к сдаче Национальному оператору. То есть, статья расходов на упаковки для захоронения находится длительный период под управлением эксплуатирующей организации и может являться объектом применения финансовых инструментов в течение всего срока промежуточного хранения с целью снижения расходов на кондиционирование.

Углубленный анализ структуры затрат, требуемый для захоронения РАО (рис. 6), показывает, что при использовании бетонных упаковок большую часть затрат составляет оплата захоронения, тогда как для металлических контейнеров ситуация обратная — большая часть затрат приходится на оплату изготовления самих упаковок.

Анализ изменения затрат на захоронение в зависимости от роста тарифов (рис. 7) показал, что для изделий из бетона характерна очень высокая чувствительность к росту тарифа на захоронение, что определяет опережающий рост

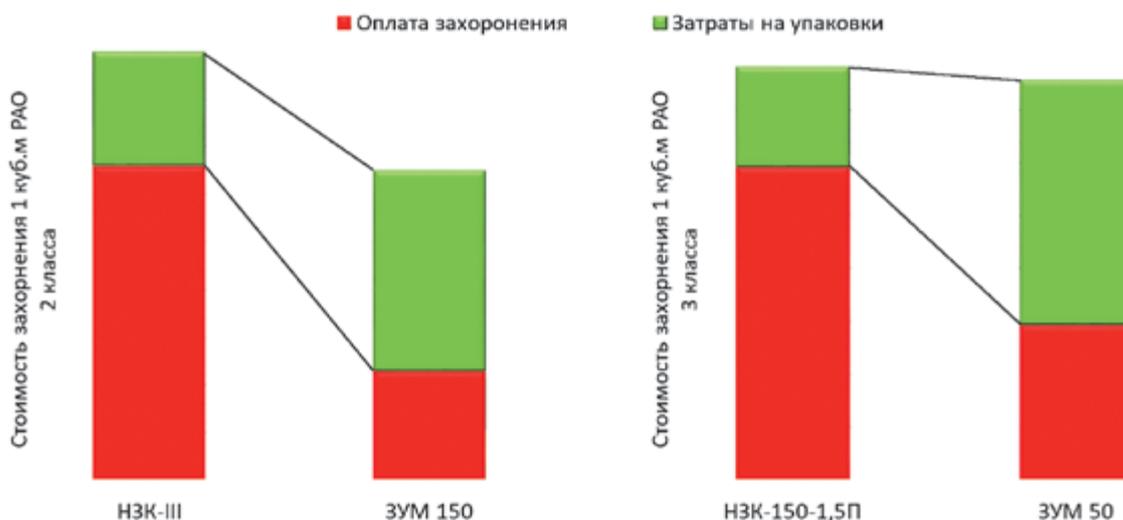


Рис. 6. Структура затрат на захоронение для РАО 2 класса и 3 класса

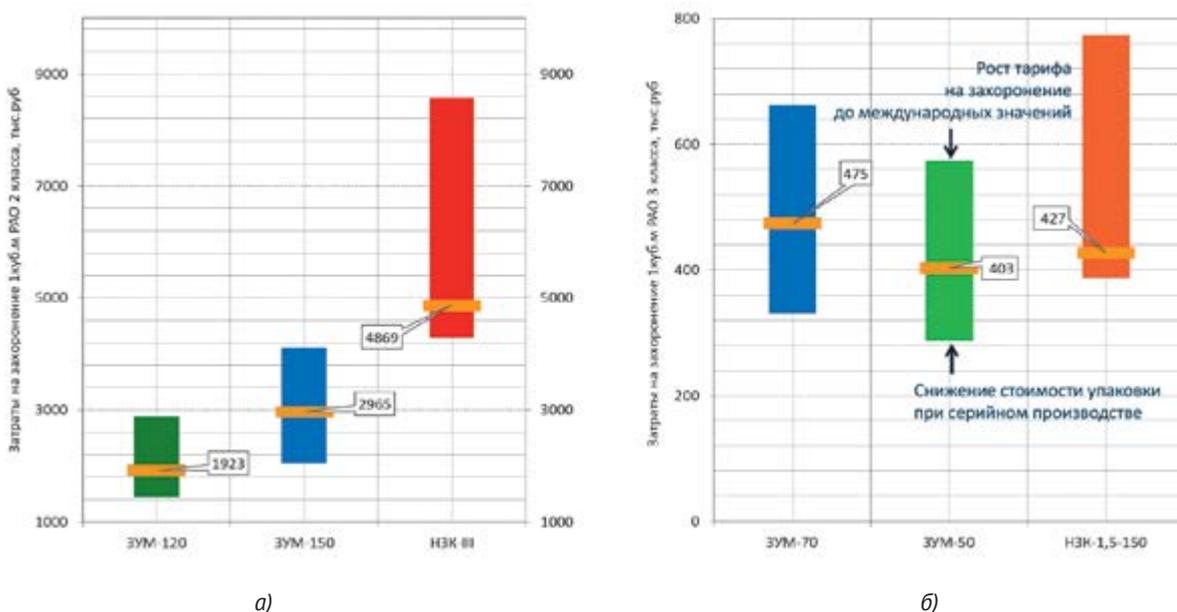


Рис. 7. Анализ изменения затрат на захоронение в зависимости от роста тарифов и снижения стоимости упаковок: а – РАО 2 класса; б – РАО 3 класса

стоимости захоронения РАО в бетонных контейнерах по сравнению с ростом стоимости захоронения при использовании упаковок из металла. Металлические контейнеры характеризуются более низкой чувствительностью к росту тарифа на захоронение.

Анализ изменения затрат на захоронение при потенциале снижения стоимости упаковок (рис. 7) показывает, что снижение цены контейнеров для РАО 2 класса не приводит к существенному улучшению технико-экономических показателей использования упаковок. Бетонные упаковки для РАО 3 класса также имеют низкую чувствительность затрат на захоронение к снижению стоимости упаковки. В то же время металлические контейнеры для РАО 3 класса имеют значительный потенциал снижения стоимости захоронения при снижении стоимости

упаковки, т. е. при организации серийного производства возможно значительно улучшить технико-экономические показатели изделий из металла.

Сравнение затрат на захоронение 1 м³ РАО 4 класса для бетонных, металлических контейнеров и гибкой упаковки представлено на рис. 8.

Сравнение показывает, что стоимость захоронения 1 м³ РАО 4 класса в бетонной упаковке НЗК-150-1,5П значительно выше стоимостей для аналогов из металла, и, несмотря на существующую практику, использование упаковки НЗК-150-1,5П для РАО 4 класса является крайне неоптимальным.

Необходимо отметить, что доля РАО 4 класса составляет большую часть от общего количества образующихся радиоактивных отходов на атомных объектах. Данное обстоятельство позволяет

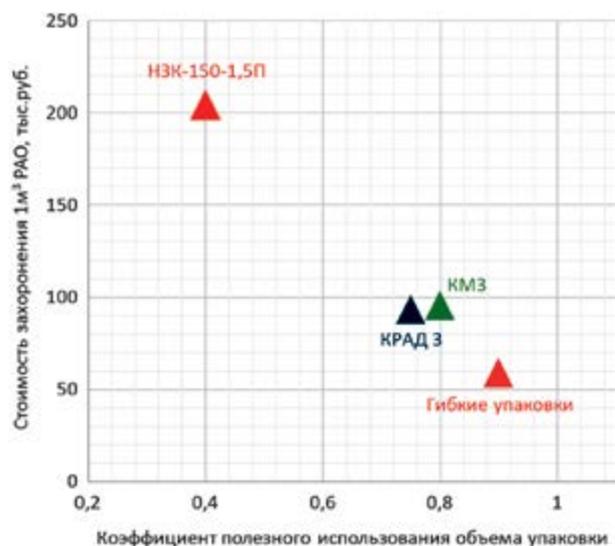


Рис. 8. Сравнение затрат на захоронение РАО 4 класса

заклучить, что снижение затрат на захоронение каждого кубического метра радиоактивных отходов 4 класса приводит к существенному снижению суммарного объема отложенных обязательств эксплуатирующих организаций.

Выводы и заключение

В период с 2011 по 2016 год в РФ принят ряд законодательных актов в области обращения с РАО, направленных на оптимизацию категорирования РАО, регламентирование выпуска нормативной документации на способы их окончательной изоляции и предложений по унифицированным техническим требованиям к упаковкам для хранения и окончательной изоляции радиоактивных отходов. Российская нормативно-законодательная база в настоящее время позволяет изменить используемые консервативные и затратные решения при обращении с потоками РАО и существенно доработать их до эффективных системных решений.

Технико-экономический анализ с использованием интегрального показателя показал, что для упаковок из бетона характерна очень высокая чувствительность к росту тарифа на захоронение, а влияние снижения стоимости упаковок на снижение затрат на захоронение незначительно. В то же время металлические упаковки характеризуются более высокой устойчивостью к росту тарифа на захоронение и имеют существенный потенциал снижения затрат на захоронение при снижении стоимости упаковки. Таким образом, для РАО 2 и 3 класса целесообразно использование контейнеров из металла в геометрии НЗК.

Для радиоактивных отходов 4 класса с удельной активностью менее $1,0E+04$ Бк/г использование бетонных контейнеров типа НЗК является нерациональным. Для РАО 4 класса целесообразно рассмотреть возможность использования гибких упаковок, имеющих более

высокие технико-экономические показатели по сравнению с тонкостенными металлическими контейнерами.

Оптимизация технических решений по использованию упаковок позволяет прогнозировать затраты жизненного цикла на обращение с РАО. Правильный выбор упаковок для РАО также позволяет существенно снизить оценочные значения обязательств по обращению с радиоактивными отходами.

Литература

1. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Постановление Правительства РФ от 3 декабря 2012 г. № 1249 «О порядке государственного регулирования тарифов на захоронение радиоактивных отходов».
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» (НП-093-14). — Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2014 года № 572.
4. Положение об организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. — Утв. Постановлением Правительства РФ от 15 июня 2016 г. № 542.
5. Тарифы на захоронение различных классов РАО. — Утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) от 13 марта 2013 г. № 89.
6. Итоговый доклад о результатах деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2016 году. — URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения 25.06.2017).
7. Годовой отчет АО «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях» за 2016 год. — URL: <http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/raskrytie-informatsii/godovye-otchety/> (дата обращения 25.06.2017).
8. *Стахов М. Р.* Стратегия обращения с РАО АО «Концерн Росэнергоатом»: Доклад на конф. Атомэко, 9–11 ноября 2015 г., Москва. — URL: http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2015/Materials/9_november/Staxiev.pdf (дата обращения 28.06.2017).
9. *Острейковский В. А.* Эксплуатация атомных станций: Учебник для вузов. — Москва: Энергоатомиздат, 1999. — URL: <http://forca.ru/knigi/arhiv/ekspluatatsiya-aes.html> (дата обращения 25.06.2017).
10. *Ефременков В. М.* Обращение с радиоактивными отходами на атомных электростанциях: Бюллетень МАГАТЭ, 4/1989.

11. Пырков И. В. и др. Внедрение технологии радионуклидного вектора на Новоронежской АЭС / Сб. материалов Десятой междунар. научно-техн. конф. «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». — Москва, 25-27 мая 2016 г.
12. Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
13. СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)».
14. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
15. Система сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения. — Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 30 июня 1998 года. Регистрационный № 1546.
16. «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16).
17. Saleh H. M. (2013) Composite Materials for the Improvement of Radioactive Waste Containers: Structures and Characterization // J. Nucl. Ene. Sci. Power Generat Technol. — S1-006. doi:10.4172/2325-9809.S1-006.
18. Стратегия обращения с радиоактивными отходами ОАО «Концерн Росэнергоатом». — Москва, 2013.
19. Saerom Yoon et al. An Integrated Multicriteria Decision-making Approach for Evaluating Nuclear Fuel Cycle Systems // Nuclear Engineering and Technology. — 2017. — Volume 49, Issue 1 — P. 148—164.
20. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 7 июля 2014 г. № 1/24-НПА.

Сведения об авторах статьи

Радченко Михаил Владимирович, кандидат технических наук, генеральный директор, АО «Инженерный центр ядерных контейнеров» (123182, Москва, а/я 43), e-mail: info@nuclearcask.ru

Кормилицына Лена Алексеевна, помощник генерального директора, АО «Инженерный центр ядерных контейнеров» (123182, Москва, а/я 43), e-mail: lenakormilitsyna@nuclearcask.ru

Матюнин Юрий Иванович, ведущий специалист, ООО «Корпорация по ядерным технологиям» (123298, Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 1, корп. 3), e-mail: info@nuclearcask.ru

Мозулян Виталий Геннадиевич, директор расчетно-физического филиала, АО «Инженерный центр ядерных контейнеров» (23182, Москва, а/я 43), e-mail: info@nuclearcask.ru

Библиографическое описание данной статьи

Радченко М. В., Кормилицына Л. А., Матюнин Ю. И., Мозулян В. Г. Многоцелевые упаковки для радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. — 2017. — № 1. — С. 74—84.

MULTIPURPOSE PACKAGES FOR RADIOACTIVE WASTES

Mikhail V. Radchenko, Lena A. Kormilitsyna, Vitaliy G. Mogulyan

Engineering Center of Nuclear Containers, Moscow

Yuriy I. Matyunin

LLC Corporation for Nuclear Technologies, Moscow

Article received 19 September 2017

The Russian Federation adopted a number of enactments in the field of radioactive waste (RAW) management that allow reconsidering currently used solutions and applying the most cost-effective, considering all basic life cycle costs when managing RAW streams, emerging as a result of the activity of organizations operating radiation-hazardous production facilities. The by now established Russian regulatory and legal framework reasonably proposes general technical and economic approaches to multipurpose shielding packages for storage, transportation and final disposal of radioactive wastes. The analysis of technical and economic parameters given in this article for RAW packages considers many years of experience of Engineering Center for Nuclear Containers, JSC in development, manufacturing, and application of the standardized range of packaging sets for transportation, storage, and disposal of radioactive wastes of various categories (specific activities).

Keywords: NPP, HLW, acceptance criteria, multipurpose casks, LLW, radioactive waste, ILW, tariff for disposal, RAW specific activity.

References

1. Federal'nyj zakon ot 11 iyulya 2011 g. № 190-FZ «Ob obrashchenii s radioaktivnymi othodami i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii».
2. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 3 dekabrya 2012 g. № 1249 «O poryadke gosudarstvennogo regulirovaniya tarifov na zahoronenie radioaktivnyh othodov».
3. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii «Kriterii priemlemosti radioaktivnyh othodov dlya zahoroneniya» (NP-093-14). — Utv. prikazom Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 15 dekabrya 2014 goda № 572.
4. Polozhenie ob organizacii sistemy gosudarstvennogo ucheta i kontrolya radioaktivnyh veshchestv i radioaktivnyh othodov. — Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 15 iyunya 2016 g. № 542.
5. Tarify na zahoronenie razlichnyh klassov RAO. — Utv. prikazom Ministerstva prirodnyh resursov i ehkologii Rossijskoj Federacii (Minprirody Rossii) ot 13 marta 2013 g. № 89.
6. Itogovyj doklad o rezul'tatah deyatel'nosti Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2016 godu. — URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (data obrashcheniya 25.06.2017).
7. Godovoj otchet AO «Rossijskij koncern po proizvodstvu ehlektricheskoy i teplovoj ehnergii na atomnyh stanciyah» za 2016 god. — URL: <http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/raskrytie-informatsii/godovye-otchety/> (data obrashcheniya 25.06.2017).
8. *Stahiv M. R.* Strategiya obrashcheniya s RAO AO «Koncern Rosehnergoatom»: Doklad na konf. Atom-ehko, 9–11 noyabrya 2015 g., Moskva. — URL: http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2015/Materials/9_november/Staxiev.pdf (data obrashcheniya 28.06.2017).
9. *Ostrejkovskij V. A.* EHkspluataciya atomnyh stancij: Uchebnik dlya vuzov. — Moskva: EHnergoatomizdat, 1999. — URL: <http://forca.ru/knigi/arhiv/ekspluataciya-aes.html> (data obrashcheniya 25.06.2017).
10. *Efremenkov V. M.* Obrashchenie s radioaktivnymi othodami na atomnyh ehlektrostantsiyah: Byulleten' MAGATEH, 4/1989.
11. *Pyrkov I. V. i dr.* Vnedrenie tekhnologii radionuklidnogo vektora na Novoronezhskoj AEHS / Sb. materialov Desyatoj mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. «Bezopasnost', ehffektivnost' i ehkonomika atomnoj ehnergetiki». — Moskva, 25-27 maya 2016 g.
12. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19 oktyabrya 2012 g. № 1069 «O kriteriyah otneseniya tverdyh, zhidkih i gazoobraznyh othodov k radioaktivnym othodam, kriteriyah otneseniya radioaktivnyh othodov k osobym radioaktivnym othodam i k udalyaemym radioaktivnym othodam i kriteriyah klassifikacii udalyaemyh radioaktivnyh othodov».
13. SP 2.6.1.2612-10 «Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiacionnoj bezopasnosti (OSPORB 99/2010)».

14. Federal'nyj zakon ot 27 dekabrya 2002 g. № 184-FZ «O tekhnicheskom regulirovanii».
15. Sistema sertifikacii oborudovaniya, izdelij i tekhnologij dlya yadernyh ustanovok, radiacionnyh istochnikov i punktov hraneniya. — Zaregistrirvano v Ministerstve yusticii Rossijskoj Federacii 30 iyunya 1998 goda. Registracionnyj № 1546.
16. «Pravila bezopasnosti pri transportirovanii radioaktivnyh materialov» (NP-053-16).
17. *Saleh H. M.* (2013) Composite Materials for the Improvement of Radioactive Waste Containers: Structures and Characterization // *J. Nucl. Ene. Sci. Power Generat Technol.* — S1-006. doi:10.4172/2325-9809.S1-006.
18. Strategiya obrashcheniya s radioaktivnymi otdami OAO «Koncern Rosehnergoatom». — Moskva, 2013.
19. *Saerom Yoon et al.* An Integrated Multicriteria Decision-making Approach for Evaluating Nuclear Fuel Cycle Systems // *Nuclear Engineering and Technology.* — 2017. — Volume 49, Issue 1. — P. 148—164.
20. Prikaz Gosudarstvennoj korporacii po atomnoj ehnergii «Rosatom» ot 7 iyulya 2014 g. № 1/24-NPA.

Information about the authors

Radchenko Mikhail Vladimirovich, PhD, General Director of Engineering Center of Nuclear Containers (P.O.Box 43, Moscow, 123182), e-mail: info@nuclearcask.ru.

Kormilitsyna Lena Alekseevna, Assistant General Director of Engineering Center of Nuclear Containers (P.O.Box 43, Moscow, 123182), e-mail: lenakormilitsyna@nuclearcask.ru.

Matyunin Yuriy Ivanovich, Leading Expert, LLC Corporation for Nuclear Technologies (1/3, Marshala Biryuzova St., Moscow, 123298), e-mail: info@nuclearcask.ru.

Mogulyan Vitaliy Gennadievich, Director of Computational-Physical Department, JSC Engineering Center of Nuclear Containers, (P.O.Box 43, Moscow, 123182), e-mail: info@nuclearcask.ru.

Bibliographic description

Radchenko M.V., Kormilitsyna L. A., Matyunin Ju. I., Mogulyan V. G. Multi-purpose Packages for Radioactive Waste // *Radioactive Waste.* — 2017. — № 1. — pp. 74—84. (In Russian).