

© А. Ю. Андрианов¹, Е. А. Джур¹, Ю. А. Крикун¹, В. И. Ткаченко²

¹Дніпропетровський національний університет

²Національний центр аерокосмічної освіти молоді України

ВАРИАНТ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СРЕДНЕЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Пропонується варіант контейнера для зберігання середньоенергетичних радіоактивних відходів, що виключає недоліки існуючих контейнерів. Двошарова конструкція контейнера при невеликій масі передбачає високі фізико-технічні властивості, обумовлені застосуванням композиційного матеріалу на основі склопластику, і високими захисними властивостями радіаційно-захисної гуми.

Одним из основных элементов обеспечения радиационной безопасности на всех стадиях комплексного обращения с радиоактивными отходами (РАО), начиная от сбора и заканчивая их захоронением, является контейнеризация РАО. Большой объем и разнообразие работ, выполняемых при обращении с РАО, обусловили создание множества типов контейнеров.

Основными признаками, учитывающими различные требования при разработке контейнеров, являются:

- функциональное назначение — учитываются требования по виду выполняемых работ, в которых используется контейнер: сбор, транспортировка, хранение, захоронение;

- технические параметры — учитывается тип радиоактивных отходов: физическое состояние (жидкие, твердые, газообразные), удельная активность, период полураспада, вид излучения, токсичность, тепловая мощность;

- унификация — согласование требований производителей и приемщиков РАО к техническим свойствам контейнеров (вес, габаритные размеры, конструкция).

Особую роль при разработке контейнера для хранения РАО имеет выбор материала. Исходя из функциональных особенностей контейнера, требования к материалам можно подразделить на две группы: физико-химические и технико-экономические.

К физико-химическим относятся: высокие защитные свойства от ионизируемых излучений; радиационная стойкость; коррозионная стойкость; теплофизические свойства (температура плавления, теплопроводность, термический коэффициент линейного расширения); химическая стойкость по отношению к РАО.

К технико-экономическим относятся: механиче-

ские свойства; срок службы; габаритные и весовые характеристики; технологичность изготовления; экономические затраты.

Следует отметить, что системных сведений по целенаправленной разработке материалов для контейнеров нет. Для решения этой задачи используется опыт разработки материалов для защиты ядерных реакторов. Поэтому в литературных источниках основное внимание уделено легированным и углеродистым сталям, чугунам, бетону (в том числе армированному). Применение данных материалов обусловлено рядом преимуществ. В то же время они не удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к материалам контейнеров. Согласно данным табл. 1 основной недостаток металлических контейнеров состоит в том, что они подвержены коррозии, а при хранении в них радиоактивных отходов являются еще и источниками вторичного рентгеновского излучения. Железобетонные и камнелитые контейнеры прежде всего отличаются значительным весом и используются только стационарно. Их транспортировка к местам сбора отходов связана с комплексом транспортно-технологических проблем, в частности с раскалыванием и охрупчиванием.

Избежать указанных недостатков и удовлетворить многочисленным и часто противоречивым требованиям может только композиционный материал, обладающий оптимальными физико-химическими и технико-экономическими свойствами.

Разработка такого материала стала возможна благодаря исследованиям по созданию новых композиционных материалов для защиты от рентгеновского и гамма-излучения. Данные исследования проводились в Физико-техническом институте Днепропетровского национального университета и

Таблица 1. Характеристика материалов для изготовления контейнеров

Тип материала	Преимущества	Недостатки
Углеродистая сталь	Широко используемый и относительно недорогой материал	Сильно корродирующий материал, нуждается в дополнительном покрытии эпоксидной смолой, краской. Не играет значимой роли как барьер в конструкции приповерхностного хранилища
Нержавеющая сталь	Жесткая конструкция. Более устойчива к коррозии, не требует защитного покрытия	Дорогостоящая. Трудно изготавливать из-за большой толщины стен. Подвержена воздействию точечной коррозии
Чугун	Отличные защитные свойства. Высокая коррозионная и механическая стойкость. Продолжительный срок службы после закрытия хранилища	Дорогостоящий
Полиэтилен (пластики)	Относительно невысокая стоимость. Малый вес. Широкодоступный материал. Отличные антикоррозийные свойства	Нежесткая конструкция. Длительная сохранность остается важнейшим вопросом из-за ползучести структуры и охрупчивания под влиянием гамма-излучения. Требует защиты от УФ-лучей
Бетон и железобетон	Высокая устойчивость к излучению и коррозии. Хорошие защитные свойства. Долгий срок службы в условиях обычного хранения	Большой вес по отношению к отходам, которые содержатся в контейнере. Вероятность проникновения грунтовых вод. Более чувствительный к механическим повреждениям, чем металлические контейнеры (в особенности если это не железобетон)
Фибробетон	Жесткая конструкция. Относительно невысокая стоимость	Большой вес по отношению к отходам, которые содержатся в контейнере. Разрушения (например, трещины в цементе) трудно определить визуально

Производственном объединении «Южный машиностроительный завод» и смежных научно-исследовательских организациях.

В частности, было опровергнуто мнение о том, что удельные характеристики ослабления ионизирующего излучения любыми материалами однозначно определяются их элементным составом и практически не зависят от их фазового состояния и дисперсности. Свидетельством тому является обнаруженное свойство ультра- и полидисперсных частиц некоторых металлов и их соединений аномально ослаблять рентгеновское и гамма-излучение. Дальнейшие исследования показали, что композиты с ультра- и полидисперсными наполнителями при определенных условиях изготовления не соответствуют классической зависимости Бугера — экспоненциального ослабления ионизирующего излучения от толщины материала.

В то же время на ПО «Южный машиностроительный завод» была разработана технология производства композиционных материалов для изделий ракетно-космической техники. Они имеют механические свойства, аналогичные свойствам стали, но их вес в 3-5 раз меньше. Они имеют высокие показатели прочности и упругости. Эксплуатация этих изделий на протяжении 30 лет в условиях агрессивных сред не привела к появлению даже следов коррозии. Температурный режим эксплуатации таких материалов, в зависимости от состава, может находиться в пределах от -50 до +700 °С.

Разработанные композиционные материалы предоставили возможность разработки универсальных многофункциональных контейнеров, которые вла-

Таблица 2. Радиационно-защитные свойства разработанного композиционного материала в сравнении со сталью для энергии источника ¹³⁷Cs (660 кэВ)

№	Плотность, г/см ³	Образец	Коэффициент массового ослабления, см ² /г	Стальной эквивалент для толщины образца 1 см, см
1	1.73	Стеклопластик	0.0751	0.26
2	7.89	Сталь	0.0637	—

деют всем комплексом положительных характеристик современных контейнеров с добавлением уникальных свойств по весу и коррозионной стойкости, при одновременном устранении присущих им серьезных недостатков.

На предприятии ПО «Южный машиностроительный завод» была изготовлена опытная партия подобных контейнеров с использованием технологии, применяемой в ракетно-технической отрасли для изготовления кожухов твердотопливных двигателей космических ракет. Основные радиационно-защитные характеристики пробных вариантов композиционного материала на основе стеклопластика по сравнению со сталью приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что удельные радиационно-защитные свойства разработанного композита (стеклопластика) выше, чем для стали, которая является одним из самых распространенных материалов, применяемых для изготовления контейнеров.

При толщине контейнера 2 см кратность ослабления разработанного композиционного материала

при энергии гамма-излучения источника ^{137}Cs (660 кэВ) составляет 1.3034. Данная величина соответствует 23.3 % ослабления гамма излучения при энергии 660 кэВ. При этом следует отметить, что данный результат возможен при использовании современной промышленной технологии изготовления радиационно-защитных композиционных материалов на основе стеклопластиков. С другой стороны, образцы, изготовленные лабораторным способом, показывают лучшие радиационно-защитные свойства по сравнению с промышленными образцами. Так, например, резиновые композиционные материалы имеют больший коэффициент линейного ослабления гамма-излучения по сравнению с материалами, изготовленными на основе стеклопластиков.

Радиационно-защитная резина включает каучуковую матрицу, наполненную предварительно сегрегированным порошком полидисперсной смеси сложного окисла редкоземельных элементов с размерами частиц 1 нм — 1 мкм, распределенных по объему матрицы, выполненной в виде каландрированных листов, и зафиксированных в ней посредством автоклавной вулканизации. Следует отметить, что данная резина предназначалась для изготовления средств индивидуальной защиты от рентгеновского излучения с энергией квантов 27—85 кэВ (анодное напряжение на рентгеновской трубке 40—128 кВ). В то же время исследование радиационно-защитных свойств резины на средних энергиях гамма излучения (источник ^{137}Cs) показали достаточно высокий результат (№ 1, табл. 3). Дальнейшая разработка радиационно-защитной резины позволила получить схожий результат при меньшей плотности, но с использованием других наполнителей (модификаторов) на основе полидисперсной вольфрамовой смеси (№№ 2, 3).

Исходя из полученных результатов по радиационно-защитным свойствам разработанных типов резины, мы предлагаем дополнить технологию изготовления контейнера (соответственно и конструкцию) дополнительной операцией — футеровкой резиновым радиационно-защитным материалом внутренней поверхности контейнера. Это позволит повысить защитные свойства контейнера.

При футеровке контейнера резиновым материалом типа 125А толщиной 1 см ослабление стенкой контейнера гамма-излучения с энергией 660 кэВ увеличивается с 23.3 до 40 %. Согласно расчетным данным вес контейнера увеличится не более чем на 50 % с сохранением физико-механических параметров материала контейнера. При футеровке контейнера тем же материалом, но толщиной 2 см, ослабление стенкой контейнера гамма излучения с

Таблица 3. Радиационно-защитные характеристики композиционных материалов на основе резины в сравнении со сталью

№	Плотность, г/см ³	Образец	Коэффициент массового ос- лабления, см ² /г	Стальной эквива- лент для толщины образца 1 см, см
1	2.70	Резина тип 112А	0.0719	0.3865
2	1.94	Резина тип 125А	0.0893	0.3452
3	1.56	Резина тип 957	0.1174	0.3649
4	7.89	Сталь	0.0637	—

энергией 660 кэВ увеличится с 23.3 до 52.6 %. Расчетный вес контейнера увеличится в два раза. При использовании резины типа 957 толщиной 2.5 см вес контейнера также увеличится в два раза, однако ослабление стенкой контейнера гамма-излучения энергии 660 кэВ достигнет 60 %.

Таким образом, двухслойная конструкция стенки контейнера может обеспечить как высокие физико-механические свойства, так и достаточные защитные характеристики. Например, для обеспечения необходимой прочности контейнера первый слой стенки, изготовленный из стеклопластика, может составлять всего лишь 0.5 см. В то же время для обеспечения необходимой радиационной защиты толщина второго слоя, изготовленного из резинового материала, может варьироваться. При этом преимущества использования резины в качестве защитного материала вполне очевидны. Технология изготовления резинового материала в несколько раз дешевле существующей технологии изготовления стеклопластиков, при этом резиновый материал обладает следующими положительными свойствами: высокая герметичность при незначительной плотности; устойчивость к агрессивным средам; высокая радиационная и термическая стойкость; низкая стоимость сырья.

Следует отметить также, что нанесение резины на поверхность стеклопластика не является на сегодняшний день проблемой. Известно, что для защиты химических электроприборов от воздействия коррозии и различных агрессивных сред выполняется гуммирование (нанесение резины на металлические и неметаллические поверхности) их корпусов. Эта же операция выполняется для прокатных валов различного диаметра, применяемых в полиграфии, деревообработке, целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности, производстве различных пленок и т. д.

Гуммирование может осуществляться различными способами: оклейкой; нанесением резиновой

смеси в виде пасты, раствора с последующей вулканизацией; газо-плазменным и вихревым напылением порошкообразных резин, смесей; применением вулканизованных вкладышей или оболочек, надеваемых на изделие.

Таким образом, совмещение радиационно-защитных и физико-механических свойств различных материалов в двухслойной конструкции позволяет изготовить контейнер для хранения среднеэнергетических радиоактивных отходов с улучшенными характеристиками по сравнению со стальными и бетонными контейнерами. При этом используется технология и материалы, применяемые в отрасли производства ракетно-космической техники.

Внедрение в производство контейнера двухслойной конструкции позволит улучшить радиационную обстановку в Украине.

1. Авдеев О. К., Кретиный А. А., Леденев А. И. и др. Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы,

решения. Монография. — Киев: Друк, 2003.

2. Закон Украины «Об обращении с радиоактивными отходами». — Киев, 1995.
3. Явление аномального ослабления интенсивности потока квантов проникающего излучения моно- и многоэлементными средами: Открытие (диплом № 57) // Бюл. гос. ВАК РФ.—1998.—№ 3.—С. 61.

CONTAINER VERSION FOR STORAGE OF MEDIUM-RADIOACTIVE WASTES MADE WITH THE USE OF SPACE ROCKET TECHNOLOGY

A. Yu. Andrianov, E. A. Dzhur, Yu. A. Krikun, V. I. Tkachenko

A new type of container for medium-radioactive waste storage without shortcomings of existing containers is proposed. Double-layer design of the container is characterized by high performance technical properties saving relatively low costs for its producing. High performance properties of the container are stipulated by composite material based on fiberglass plastic. Application of the radiation protective rubber stipulates high protective properties.

УДК 678.02:621.365

© Т. А. Манько, Н. А. Задоя, А. В. Мишуткина

Физико-технический институт Днепропетровского национального университета

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Розроблена технологія формування склопластику на основі фенолоформальдегідних зв'язників із застосуванням попередньої магнітної обробки останніх. Запропоновано оптимальні режими обробки зв'язників.

Изменение свойств полимеров является актуальной задачей при изготовлении изделий из полимерных композиционных материалов. Представляет значительный практический интерес разработка таких методов воздействия на полимеры, при которых существенно не изменяется технология изготовления композитов. Одним из направлений решения задачи повышения эксплуатационных характеристик материалов является предварительная магнитная обработка связующего.

В качестве объекта исследования использовали стеклопластики (КТ-11-ТОА+ЛБС-4). Предварительную магнитную обработку фенолоформальдегидного связующего ЛБС-4 проводили в слабых магнитных полях напряженностью 9.55 кА/м в течение 10 мин. Магнитное поле создавали с помощью магнитов из феррита бария.

В результате проведенных исследований установ-

лено, что плотность жидкой системы при магнитной обработке практически не изменяется. Следовательно, релаксационные процессы восстановления равновесного теплового состояния проходят за время не более 10 мин. Косвенным подтверждением того, что при изменениях, связанных с магнитной обработкой, релаксационные процессы в жидком олигомере протекают быстро, может служить изменение электрического сопротивления олигомера.

Величина электрического сопротивления жидкой системы определяется концентрацией свободных носителей зарядов и их подвижностью. Изменение сопротивления может служить качественной оценкой влияния постоянного магнитного поля на жидкие олигомеры. С целью исследования этого влияния была проведена серия экспериментов по изменению электросопротивления жидкого олигомера ЛБС-4. Установлено, что сопротивление олигомера