

Упаковка типа С: история создания и перспективы использования

Савина О.А., Комаров С.В., Ивашкин А.И., Дерганов Д.В. (ООО НПФ «Сосны», Россия),
Лазарев Е.Н. (АК «Волга-Днепр», Россия), Большинский И. (DOE/NNSA, США), Мозес С. (ORNL, США)

Введение

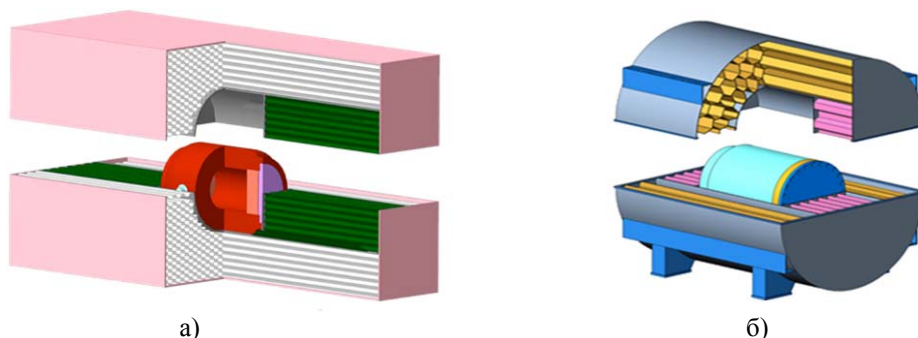
В соответствии с правилами TS-R-1 и НП-053-04, требования к упаковкам типа С более жесткие по сравнению с упаковками других классов, но самым серьезным испытанием является соударение с жесткой преградой на скорости не менее 90 м/с. В Российской Федерации первое упоминание об упаковках подобного типа появилось в 2005 году после введения в действие Правил безопасности при транспортировании радиоактивных материалов НП-053-04. С этого момента специалисты НПФ «Сосны» начали изучать вопросы и проблематику транспортирования отработавшего ядерного топлива по воздуху. Многие решения в дальнейшем были использованы при реализации программы репатриации топлива исследовательских реакторов российского происхождения (RRRFR). В соответствии с основами нового регулирования в рамках данной программы в 2009 году были осуществлены вывозы ОТВС из Румынии и Ливии в упаковках типа В(У), которые доказали принципиальную возможность воздушных перевозок ОЯТ исследовательских реакторов (ИР). В целях дальнейшего развития данного направления одним из решений форума «Атомтранс-2009» была поставлена задача разработать упаковку типа С для перевозок различных видов радиоактивных материалов высокой активности с использованием воздушного транспорта.

В середине 2009 года US DOE/NNSA обратились к НПФ «Сосны» с предложением проанализировать возможность создания упаковки типа С на базе имеющегося транспортного упаковочного комплекта SKODA VPVR/M, вмещающего до 36-ти ОТВС ИР. В связи с этим перед специалистами НПФ «Сосны» встал вопрос: «Создавать усиленный ISO-контейнер, в котором будет размещаться ТУК SKODA VPVR/M или новую динамическую защиту?». Решение данного вопроса было принято в пользу усиления существующего ТУК SKODA VPVR/M динамической защитой, роль которой – гашение основной части энергии при ударе контейнера о преграду.

История создания

Требования российских и международных правил, предъявляемые к упаковкам типа С, не накладывают дополнительных ограничений по активности радиоактивного содержимого, но требуют сохранения герметичности упаковки после испытания на столкновение со скоростью не менее 90 м/с и пожара в течение одного часа.

На начальном этапе на форуме «Атомтранс-2006» обсуждалось концептуальное решение о создании разборной динамической защиты, внутри которой размещается ТУК SKODA VPVR/M без штатных демпферов [1, 2]. Кроме того, прорабатывалась возможность использования существующего 20-футового ISO-контейнера, заполненного демпфирующим материалом, в качестве оболочки для динамической защиты или оболочки с фитингами ISO-контейнера (рис. 1) для обеспечения простоты и универсальности выполнения транспортно-технологических операций с упаковкой.



а) б)
Рис. 1. Концептуальный вариант упаковки типа С:
а – на базе ISO-контейнера, б – с фитингами ISO-контейнера

После решения форума «Атомтранс-2009» о создании упаковки следующим этапом стал выбор материалов для динамической защиты. В настоящий момент в мире существует большое количество промышленных материалов, производители которых позиционируют их как поглощающие энергию при ударе. Были рассмотрены и всесторонне проанализированы свойства демпфирующих материалов, которые можно разделить на следующие группы:

- древесина;
- сотовые панели;
- пенометаллы.

Сотовые панели и пеноалюминий имеют недостаточную прочность; они значительно уступают по прочностным свойствам древесине (для анализа использовались данные по сосне и бальзе). Однако упаковка типа С с динамической защитой из древесины, в лучшем случае, весила бы 42 тонны, что неприемлемо для воздушной перевозки. Следовательно, применение ни одного из рассмотренных выше материалов невозможно для динамической защиты упаковки типа С на базе контейнера SKODA VPVR/M.

Параллельно исследованиям прочностных свойств промышленных демпфирующих материалов велись работы по определению оптимальной транспортно-технологической схемы при перевозке упаковки типа С, в результате которых было принято решение о вертикальном расположении контейнера SKODA VPVR/M без штатных демпферов.

После определения необходимости разработки специальной системы демпфирования для контейнера SKODA VPVR/M в период с февраля по май 2010 года специалистами РФЯЦ – ВНИИЭФ были выполнены расчеты трех вариантов конструкции динамической защиты (рис. 2):

- «Косынки» – профилированная сварная конструкция в форме «косынок»;
- «Профили» – сварная конструкция из гнутых профилей;
- «Сферы» – наборная конструкция из сферических демпфирующих элементов.

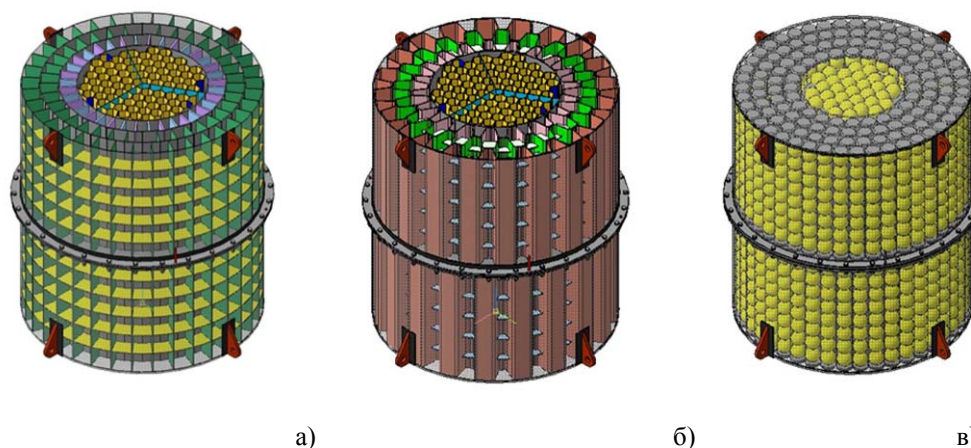


Рис. 2. Варианты упаковки типа С на этапе эскизного проекта:
а – «Косынки», б – «Профили», в – «Сферы»

По итогам работ было определено, что наиболее перспективными и технологически реализуемыми являются варианты «Профили» и «Сферы». Были выполнены расчеты прочности конструкции для обоих вариантов. С помощью численного моделирования соударения упаковки с жесткой преградой на скорости 90 м/с была показана возможность создания упаковки такого класса. Одним из важнейших результатов этапа эскизного проекта стало определение материала динамической защиты – титановый сплав.

В июне 2010 года после подтверждения принципиальной возможности создания транспортного упаковочного комплекта для воздушной перевозки было утверждено техническое задание на разработку упаковки типа С, согласованное со всеми заинтересованными организациями отрасли: Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, Аварийно-техническим центром Минатома России, ПО «Маяк», авиакомпанией «Волга-Днепр». Тогда же транспортному упаковочному комплекту был присвоено обозначение ТУК-145/С.

В техническом задании были указаны основные требования:

- возможность перевозки ТУК-145/С всеми видами транспорта, включая воздушный;
- максимальная масса загруженного ТУК-145/С не должна превышать 35 тонн;
- габариты ТУК-145/С не должны превышать 3900 мм по высоте и 3800 мм по ширине;
- ориентация контейнера SKODA VPVR/M внутри упаковки – вертикальная.

Результатом эскизного проекта должен был стать выбор одной из двух конструкций: «Профили» или «Сферы».

Дальнейшая проработка вариантов конструкции ТУК-145/С позволила определить более точные массогабаритные характеристики динамической защиты, получившей название «Защитно-демпфирующий кожух» или ЗДК. Численное моделирование различных видов соударения ТУК-145/С с жесткой преградой на скорости 90 м/с позволило получить данные о напряженно-деформированном состоянии элементов ЗДК (таблица 1).

Сравнение данных таблицы 1 позволяет сделать вывод о наилучших демпфирующих способностях и меньших массогабаритных характеристиках варианта «Сферы». Именно он был принят для дальнейшей разработки.

На этапе технического проекта была более детально проработана конструкция ТУК-145/С (рис. 3). ЗДК представляет собой цилиндр, состоящий из двух частей с фланцевым соединением посередине, внутри которых упорядоченно уложены полые титановые сферы, являющиеся демпфирующими элементами.

Таблица 1. Параметры ТУК-145/С для вариантов «Профили» и «Сферы»

Параметр	Вариант «Профили»	Вариант «Сферы»
Габаритные размеры, мм	Ø3000x3843	Ø3214x3065
Масса ЗДК, кг	22500	19200
Напряжения в болтовых соединениях крышки контейнера SKODA VPVR/M, кгс/мм ² :		
осевое соударение;	62	35
боковое соударение;	64,5	30
угловое соударение	60	45

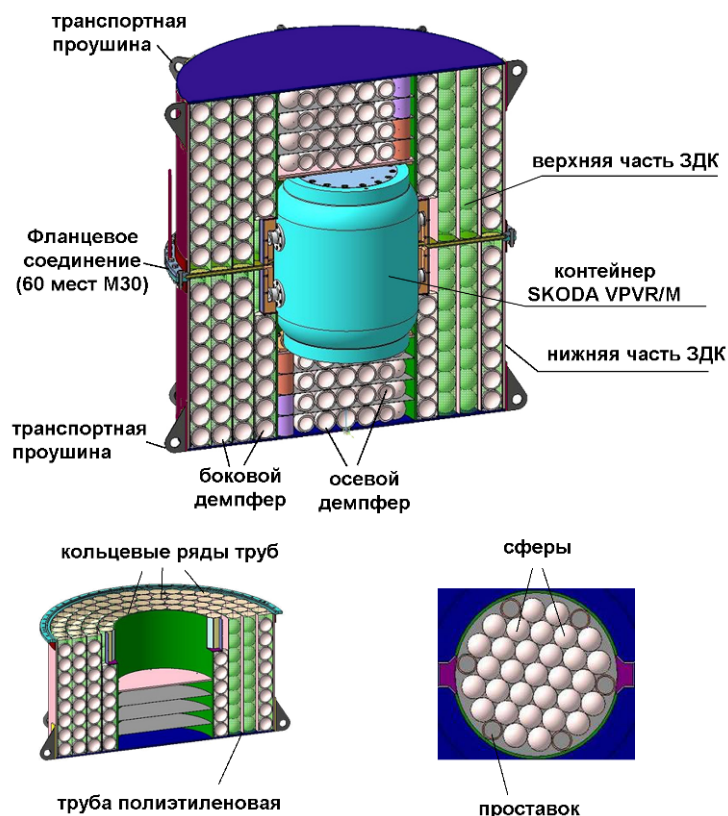


Рис.3. Конструкция ТУК-145/С (этап технического проекта)

Подготовка и проведение сертификационных испытаний

В соответствии с правилами TS-R-1 и НП-053-04 специалистами РФЯЦ – ВНИИЭФ было проведено расчетное моделирование следующих аварийных ситуаций:

- падение ТУК-145/С с высоты 9 м на жесткую преграду;
- падение на ТУК-145/С тела массой 500 кг;
- падение ТУК-145/С на штырь с высоты 3 м;
- пожар в течение 60 минут;
- столкновение с жесткой преградой на скорости не менее 90 м/с.

Моделирование падения ТУК-145/С на жесткую преграду выполнялось для варианта углового соударения, когда ТУК-145/С находится в наиболее опасной ориентации с точки зрения целостности контейнера SKODA VPVR/M. Результаты численного моделирования аварийных ситуаций для ТУК-145/С подтвердили безопасность его использования при транспортировании всеми видами транспорта, включая воздушный.

Поскольку обязательным требованием при создании ТУК-145/С было проведение натурных испытаний соударения с жесткой преградой на скорости 90 м/с, в завершающей фазе технического проекта специалистами НПФ «Сосны» был спроектирован макет ТУК-145/С, являющийся его уменьшенной копией. Изготовление макета в масштабе 1:2,5 завершилось в апреле 2011 года. К этому времени была разработана и утверждена ГК «Росатом» программа испытаний.

В соответствии с распоряжением ГК «Росатом» была сформирована комиссия по проведению испытаний, включающая представителей Департамента ядерной и радиационной безопасности ГК «Росатом»,

РФЯЦ–ВНИИЭФ, НПФ «Сосны», НЗКХ, Аварийно-технического центра Росатома, Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору и других организаций. До испытаний был выполнен входной контроль с фиксацией параметров макета ТУК-145/С. Испытания состоялись 18 мая 2011 г. на ракетном треке РФЯЦ–ВНИИЭФ. Результаты испытаний зафиксированы в протоколе дефектации макета ТУК-145/С и акте о результатах проведения испытаний, утвержденных первым заместителем Генерального директора ГК «Росатом». Члены комиссии заключили, что экспериментальные данные хорошо коррелируют с расчетными, и результаты расчетов, выполненных при обосновании безопасности ТУК-145/С с облученными ТВС исследовательских реакторов, удовлетворяют требованиям правил TS-R-1 и НП-053-04 по безопасности воздушных перевозок.

После успешных испытаний макета ТУК-145/С специалисты НПФ «Сосны» разработали рабочую конструкторскую документацию защитно-демпфирующего кожуха ТУК-145/С и начали процедуру получения сертификата-разрешения на конструкцию упаковки в России.

Получение сертификата-разрешения на ТУК-145/С и изготовление ЗДК

Для получения сертификата-разрешения на конструкцию упаковки ТУК-145/С была подготовлена заявка, направленная в октябре 2011 года в адреса Заместителя руководителя рабочего органа РФЯЦ–ВНИИЭФ и Заместителя директора Департамента ядерной и радиационной безопасности, организации лицензионной и разрешительной деятельности. После принятия и регистрации заявки специалисты РФЯЦ–ВНИИЭФ приступили к рассмотрению материалов заявки и проведению экспертизы.

Параллельно для обоснования ядерной безопасности перевозки была направлена заявка в Отдел ядерной безопасности ГНЦ РФ – ФЭИ. После выполнения обосновывающих расчетов получено «Заключение №11-147 по ядерной безопасности ТУК-145/С для транспортирования ОТВС исследовательских реакторов воздушным транспортом».

Экспертное заключение утверждено в феврале 2012 руководителем РО РФЯЦ–ВНИИЭФ, после чего проект сертификата и экспертное заключение были направлены Заместителю директора Департамента ядерной и радиационной безопасности, организации лицензионной и разрешительной деятельности для дальнейшего согласования сертификата в Департаментах ГК «Росатом», ФМБА России и Ростехнадзора.

В процессе сертификации было дополнительно выпущено независимое экспертное заключение по требованию Ростехнадзора. Результатом всех работ стало получение 10 апреля 2012 г. сертификата-разрешения на конструкцию упаковки в России.

Защитно-демпфирующий кожух был изготовлен Корпорацией ВСМПО-АВИСМА в период с января по июнь 2012 года. Процесс изготовления был весьма трудоемкий, поскольку изделие такой конструкции изготавливалось впервые, а обработка титана технологически сложна.

Демонстрационные испытания ТУК-145/С

В период 26-27 июня 2012 г. в аэропорту «Ульяновск–Восточный» состоялась демонстрационные испытания, включающие апробацию технологии обращения с ТУК-145/С. Основные цели испытаний были следующие:

- демонстрация технической возможности формирования ТУК-145/С путём загрузки контейнера SKODA VPVR/М в ЗДК с использованием автокрана;
- демонстрация технической возможности загрузки/выгрузки ТУК-145/С с автомобильного транспорта (полуприцепа) в самолет АН-124-100 с использованием роликовой системы и автокрана;
- демонстрация технической возможности загрузки/выгрузки ТУК-145/С, установленного на автомобиль (тягач с полуприцепом), в самолет АН-124-100;
- выявление особенностей процесса формирования ТУК-145/С;
- выявление особенностей процесса перегрузки ТУК-145/С с одного вида транспорта на другой;
- фото- и видеосъемка основных этапов работ;
- хронометраж длительности операций;
- подтверждение работоспособности процедур обращения с ТУК-145/С для использования при перевозках.

В первый день проводилась загрузка ТУК-145/С в самолет АН-124-100 с использованием роликовой системы и автокрана (рис. 4). Общая длительность работ составила около трех часов.

Во второй день проводилась демонстрация загрузки ТУК-145/С на автомобильном полуприцепе в самолет АН-124-100 (рис. 5). Эти работы заняли около двух часов.

Демонстрационные испытания полностью подтвердили работоспособность процедур обращения с ТУК-145/С.



Рис. 4. Загрузка ТУК-145/С в самолет Ан-124-100 с использованием роликовой системы



Рис. 5. Загрузка ТУК-145/С в самолет Ан-124-100 на автомобиле с полуприцепом

Выводы

С момента зарождения идеи создания упаковки типа С для перевозки ОЯТ ИР по воздуху в рамках программы RRRFR до ее реализации прошло не так много времени. До конца 2015 года в рамках программы осталось произвести всего пять перевозок. Оцениваются различные варианты маршрутов и видов транспорта, среди которых – воздушные перевозки.

В дальнейшем созданная упаковка может быть использована для других международных проектов, в том числе как комплект оборудования для срочной организации вывоза ОЯТ в случае форс-мажорной ситуации (война, стихийные бедствия, террористические угрозы), позволив осуществлять транспортирование ядерных материалов из любой точки мира. В настоящее время анализируется возможность использования воздушных перевозок для вывоза ОЯТ из труднодоступных мест, таких, например, как Билибинская АЭС.

Литература

[1] Барабенкова Л.В., Латыпов И.И., Матвеев В.З. и др., «Варианты концепции контейнера для перевозки отработавшего ядерного топлива исследовательских и энергетических реакторов воздушным транспортом» // сборник докладов IX Международной конференции «Безопасность ядерных технологий: обеспечение безопасности при транспортировании радиоактивных материалов и при обращении с РАО – АТОМТРАНС-2006», С.-Петербург, 25-29 сентября 2006 г.

[2] V. Shapovalov, A. Morenko, L. Barabankova, V. Yakushev, “Conceptions of the Type “С” Package for Air Shipment of Spent Nuclear Fuel of Research and Power Reactors”/ XV International Symposium on packaging and transportation of radioactive materials, Miami, Florida, USA, October 21-26, 2007.