Упаковка типа С: создание и перспективы дальнейшего использования

С.В. Комаров, М.Е. Буду, Д.В. Дерганов, А.В. Худяков

ООО НПФ «Сосны», г. Димитровград

1. Аннотация

В рамках программы RRRFR Департамент энергетики США инициировал, а российские организации разработали первую в мире упаковку типа С для воздушных транспортировок ОЯТ ИР в соответствии с Правилами безопасной перевозки радиоактивных материалов МАГАТЭ (TS-R-1). Упаковка ТУК-145/С основывается на контейнере SKODA VPVR/M Типа В, помещенного в защитно-демпфирующий кожух (ЗДК), который обеспечивает герметичность содержимого в случае авиакатастрофы при перевозке ОЯТ.

2. Развитие правил воздушной транспортировки радиоактивных материалов

Ранние редакции Правил безопасной транспортировки радиоактивных материалов МАГАТЭ (вплоть до 1996 года) не содержали ограничений для конструкций упаковок, предназначенных для воздушных перевозок радиоактивных материалов, связанных с аварийными условиями. В Соединенных Штатах Комиссия по ядерному регулированию в 1978 году издала «Квалификационные критерии сертификации упаковки для воздушной транспортировки плутония» (NUREG-0360), в которых были изложены требования к упаковке при испытаниях в аварийных условиях[1], а именно испытания на столкновение с жесткой преградой, тепловые испытания при пожаре, испытания с погружением в воду, испытание на прокол/разрыв, испытание на рассечение и статические испытания на сжатие. На основании этих требований Сандийская лаборатория разработала упаковку PAT-1 для воздушной перевозки плутония, удовлетворяющая всем требованиям NUREG-0360. PAT-1 была сертифицирована как упаковка, способная сохранить целостность центральной части упаковки, содержащей радиоактивные материалы, при авиакатастрофах. Энергопоглощающим элементом являлась внешняя демпфирующая конструкция из отборного высушенного красного дерева, принимая во внимание высокую удельное энергопоглощение и огнестойкие характеристики данного материала [2]. Упаковка была сертифицирована для транспортировки до 2 кг PuO_2 с максимальным остаточным тепловыделением 25 Вт.

В апреле 1993 г. МАГАТЭ был издан документ TECDOC-702 «Воздушная транспортировка радиоактивных материалов в больших объемах или с высокой активностью». «Правила безопасной транспортировки радиоактивных материалов» МАГАТЭ, редакции 1996 года, содержали еще более строгие требования к упаковкам, предназначенным для воздушной транспортировки. В частности, были представлены новые требования, касающиеся ограничений до 3000 A_2 на радиоактивное содержимое упаковки типа В для материалов не особого вида при воздушных перевозках, требование к сохранению подкритичности отдельной упаковки после серии установленных испытаний, а также было впервые введено понятие упаковки типа С. Позднее в Правилах МАГАТЭ в редакциях 2005, 2009 и 2012 годов было подтверждено действие данных пунктов [3].

3. Основание для начала разработки и краткое представление конструкции ТУК-145/С (тип С)

Идея разработки упаковки для воздушных переводок без ограничений по активности радиоактивного содержимого (упаковка типа С) возникла после выполнения первой сертифицированной по новым правилам (не на специальных условиях) перевозки в Россию

ОЯТ ИР в ТУК-19 (тип В) из Румынии в 2009 году, в рамках Инициативы по снижению глобальной угрозы NNSA и программы RRRFR (Russian Research Reactor Fuel Return). В период 2009-2012 гг. было выполнено еще шесть аналогичных вывозов ОЯТ ИР в Россию в ТУК-19 (из Ливии – одна перевозка, из Узбекистана – две перевозки, из Румынии – три перевозки).

В рамках программы RRRFR по заказу Департамента энергетики США в 2009 году начались работы по разработке упаковки типа С на базе контейнера SKODA VPVR/M для воздушных перевозок ОЯТ ИР, в частности для перевозки ОТВС с достаточно удаленного от места переработки (Россия, г. Озерск) исследовательского реактора DNRR (Вьетнам, г. Далат). Работы были направлены на усиление безопасности и эффективности воздушных перевозок радиоактивных материалов.

Действующие требования российских и международных правил для упаковки типа С не накладывают никаких дополнительных ограничений по активности радиоактивного содержимого, но требуют, дополнительно к требованиям для упаковки типа В, сохранения герметичности упаковки после испытаний на столкновение с твердой преградой на скорости не менее 90 м/с и при воздействии пожара в течение часа.

Контейнер ТУК-145/С (упаковка типа С) [5] (Рис. 1) состоит из двух основных частей:

- контейнер SKODA VPVR/M внутри ЗДК, для обеспечения герметичности и предотвращение утечки радиационного содержимого при нормальных и аварийных условиях транспортировки;
- защитно-демпферующий кожух (ЗДК), для поглощения динамического ускорения в случае авиакатастрофы.

Контейнер SKODA VPVR/M (рис.1 а) сертифицирован как упаковка B(U) для перевозки ОТВС исследовательских реакторов всеми видами транспорта, кроме воздушного (сертификат RUS/3065B(U)F-96(Rev.2). Контейнер SKODA VPVR/M состоит из массивной стальной оболочки цилиндрической формы диаметром 1200 мм, высотой 1505 мм. Внутренняя полость имеет цилиндрическую форму с гладкой поверхностью, на которую нанесен слой алюминия. Во внутренней полости имеются ступенчатые проточки (по две диаметром 850 мм и 630 мм в верхней и нижней части) для установки внутренних и наружных крышек. На опорных поверхностях проточек для наружных крышек выполнено 16 резьбовых отверстий для установки болтов М36. Для проведения такелажных работ по транспортированию и кантованию контейнера на нем смонтировано две пары цапф. Система герметизации контейнера SKODA VPVR/M состоит из двух пар одноразовых уплотнений типа Helicoflex, которые размещаются попарно на герметизируемой поверхности между корпусом и верхней (нижней) наружной крышкой.

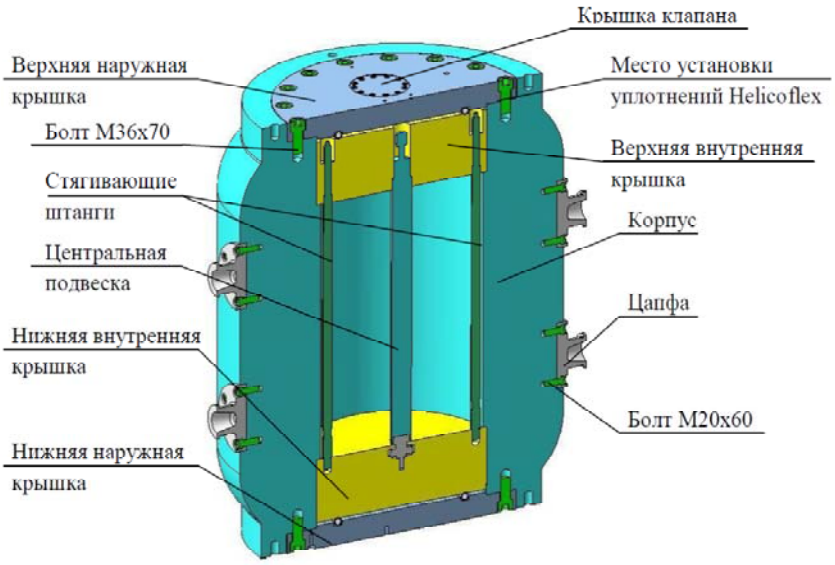
ЗДК (рис.1 б) представляет собой цилиндр, состоящий из двух частей (верхней и нижней), подобных по конструкции. Корпус ЗДК является сварной конструкцией, состоящей из дна, обечайки наружной, обечайки внутренней, трех промежуточных обечаек, опоры, трех промежуточных стенок, крышки, фланца, усиливающего кольца, транспортных проушин и карманов для размещения цапф контейнера SKODA VPVR/M. Все элементы изготовлены из титанового сплава ОТ4 ГОСТ 19807-91 и сварены сплошным швом в среде инертных газов. ЗДК наполнен демпфирующими элементами – полыми титановыми сферами из сплава ОТ4. Сфера является основным демпфирующим элементом в ЗДК и применяется как в осевом демпфере, так и в боковом. Сфера получена сваркой кольцевым швом в среде защитных газов двух полусфер, изготовленных штамповкой из плиты толщиной 12 мм ГОСТ 23755-79. В боковых частях ЗДК сферы размещаются в трубах из оцинкованной стали. Слои, образованные сферами, отделены друг от друга стенками и обечайками.

Контейнер SKODA VPVR/M устанавливается во внутреннюю нишу ЗДК. Основные характеристики представлены в таблице 1. Класс безопасности 3З согласно классификации систем и элементов НП-016-05.

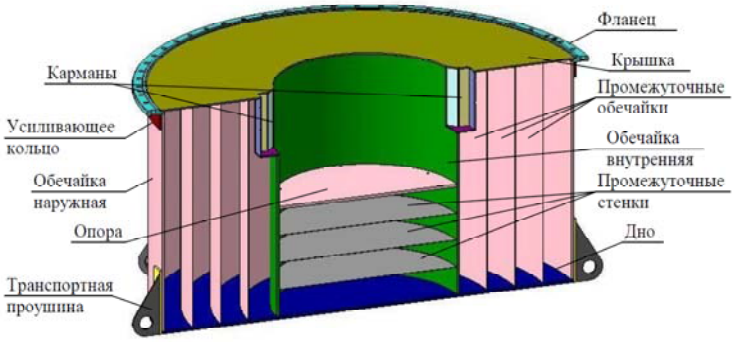
Таблица 1. Технические характеристики ТУК-145/С

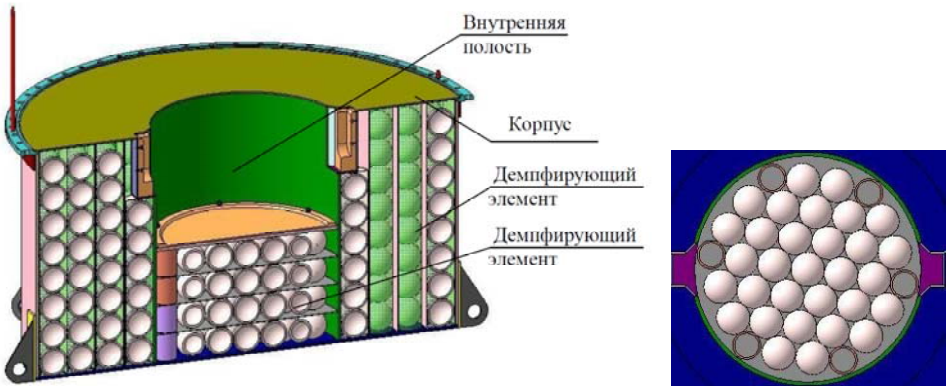
Характеристики	Значение
Масса загруженного ТУК-145/С, кг	29 650
Масса порожнего ТУК-145/С, кг	29 200
Масса ЗДК, кг	18 500
Максимальная масса загружаемых ОТВС, кг	450
Количество ячеек для ОТВС	36
Срок эксплуатации, годы	30
Высота, мм	3065
Ширина, мм	3168
Диаметр, мм	2816

ЗДК, выполняющий функцию динамической защиты в случае авиакатастрофы, был разработан для поглощения кинетической энергии упаковки при ее столкновении с жесткой преградой на скорости не менее 90 м/с до такого уровня нагрузки, который может быть выдержан корпусом контейнера SKODA VPVR/M. При разработке ЗДК были рассмотрены и другие претенденты на роль демпфирующих материалов: дерево различных пород, пеноалюминий различной плотности, сотовые материалы различных производителей. Ни один из рассмотренных материалов не удовлетворял требованиям прочности либо по массогабаритным характеристикам.



а)





б)

Рис. 1. Конструкция ТУК-145/С: а) контейнер SKODA VPVR/M (не показан внутренний чехол для размещения ОТВС), б) ЗДК

4. Расчет деформации упаковки при столкновении

Расчет динамического поведения конструкции при столкновении с жесткой преградой на скорости не менее 90 м/с осуществлялся на основе соотношений механики сплошных сред с учетом контактного взаимодействия элементов конструкции между собой. При этом при

расчете контактных взаимодействий элементов учитывается трение между контактирующими поверхностями.

Динамическое деформирование материалов элементов конструкции описывается соотношениями дифференциальной теории пластичности с линейным кинематическим упрочнением. Система уравнений, описывающая движение деформируемой конструкции, формулируется в переменных Лагранжа, решается методом конечных элементов с использованием явной конечно-разностной схемы интегрирования по времени.

Численный расчет состояния ТУК-145/С выполняется с учетом возможного разрушения деталей исследуемых конструкций. Для описания процесса разрушения в моделях конструкций используются алгоритмы удаления конечных элементов. При таком подходе из расчета исключаются конечные элементы, в которых растягивающие деформации превышают величину предельной деформации при одноосном растяжении, либо элементы, сжатые более чем на 80%.

Экспериментальные и расчетные данные получены для уменьшенного макета ТУК-145/С, выполненного в масштабе 1:2,5. Такое соотношение выбрано из-за технических ограничений испытательного стенда.

Численный расчет для оценки состояния макета ТУК-145/С при его угловом столкновении с преградой со скоростью 95 м/с проводился для угла отклонения 7° продольной оси макета ТУК-145/С от нормали к поверхности. Расчет показал, что замыкание корпуса макета контейнера SKODA VPVR/M на поверхность преграды отсутствует. На рисунке 2 представлено состояние макета ТУК-145/С в процессе деформирования на момент окончания расчета.

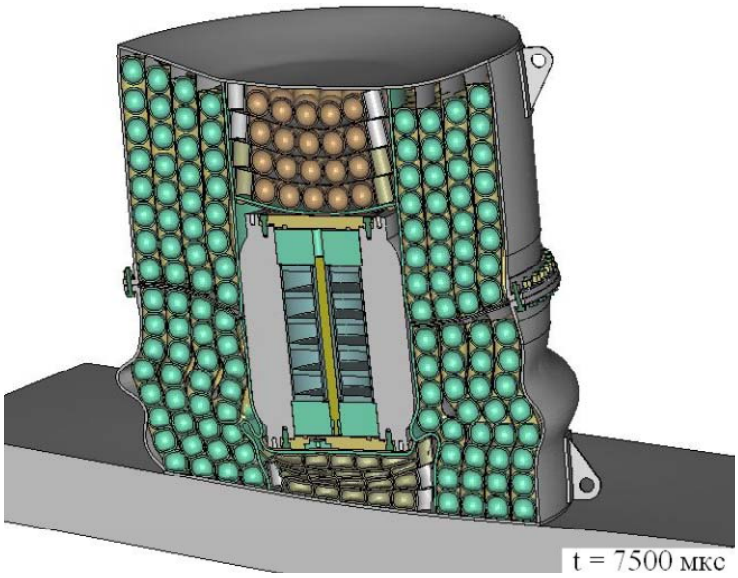


Рис. 2. Деформация конструкции на момент окончания расчета

Расстояние от торца макета контейнера до преграды на краях составляет 122,5 мм, на другом 159 мм. Исходная величина демпфирующего слоя торцевой зоны макета ЗДК составляет 290 мм, т.е. сохраняется некоторый запас демпфирующих свойств макета ЗДК.

Дополнительно был выполнен анализ динамической деформации ТУК-145/С при соударении с мягкими грунтами на скорости 90 м/с, что могло бы иметь место с большей вероятностью при падении.

На основе анализа процессов динамического деформирования грунтов различного типа определены типовые представители грунтов, в качестве которых предложены:

- песок плотностью 1,68г/см^3 – наиболее "мягкая" грунтовая преграда;
- супесь плотностью 2 г/см^3 и влажностью14% – "средняя";

- суглинок плотностью 1,97г/см^3 – наиболее "жесткая" грунтовая преграда.

Были проанализированы осевое, боковое и угловое падение конструкции ТУК-145/С со скоростью 90 м/с в грунты (рис.3, 4).

На момент окончания счета осевого, бокового и углового падения ТУК-145/С внедрился в грунт на 1,2 м, 0,9 м и 1,7 м соответственно. Максимальные уровни деформаций не превышают величину относительного удлинения материала деталей конструкции ЗДК, при которой происходит их разрушение (сплав ОТ4, δ=20%). Более детально анализировались участки соединения, находящиеся вблизи ударной зоны. Болты деформируются упруго. Максимальный уровень напряжений, реализующийся в локальных зонах на болтах соединения, не превышает 58 кг/мм^2, 30 кг/мм^2 и 50 кг/мм^2 относительно в случае осевого, бокового и углового падения, что существенно предела текучести для материала болтов ($\sigma_{0.2}$ = 64 кг/мм^2).

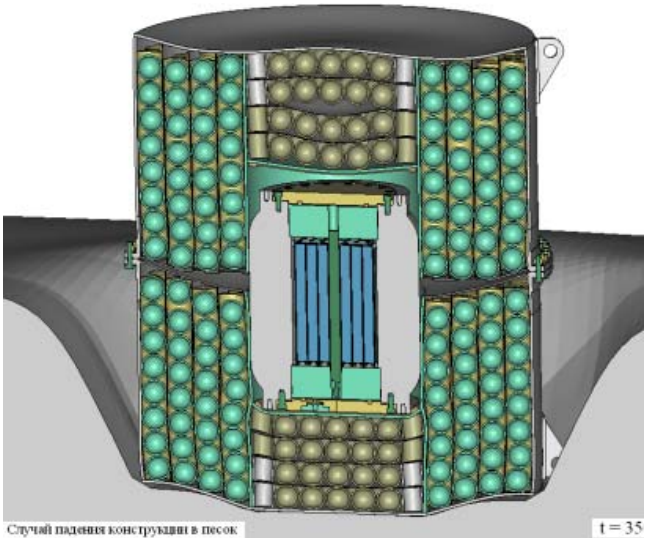


Рис. 3. Состояние конструкции ТУК-145/С на момент окончания счета для падении в песок при осевом падении

На рис. 4. представлены кривые изменения во времени перегрузки на корпусе контейнера SKODA VPVR/M в случае падения ЗДК на жесткую преграду и в случае падения ЗДК на грунты.

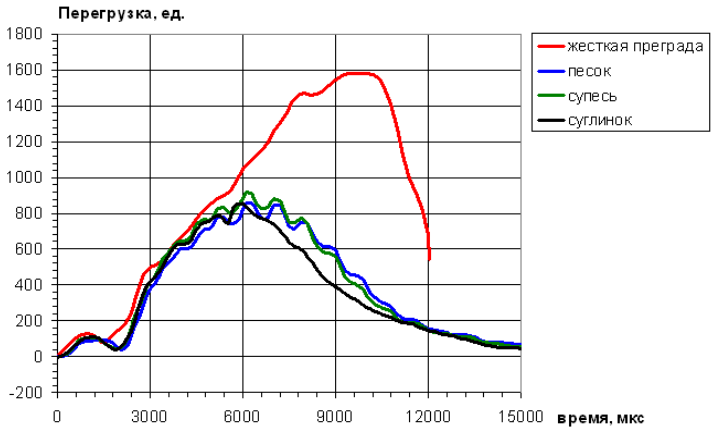


Рис. 4. Кривые изменения во времени перегрузки на корпусе контейнера SKODA VPVR/M в случае падения ТУК-145/С на жесткую преграду и на грунты

Во всех рассмотренных расчетных случаях столкновения ТУК-145/С с поверхностью грунта демпфирующая система ЗДК обеспечивает снижение ударной нагрузки, приходящейся на контейнер SKODA VPVR/M, до уровня, при котором контейнер сохраняет свою целостность и герметичность.

При падении ЗДК на грунты уровень перегрузок, реализующихся на элементах контейнера SKODA VPVR/M, существенно ниже по сравнению с перегрузками, возникающими на контейнере при падении ЗДК на жесткую преграду.

На этапе технического проекта были проведены расчетные оценки радиационной безопасности упаковки ТУК-145/С в результате усиленных аварийных воздействий в наихудшем случае, когда все ОТВС разрушаются и осыпаются на дно контейнера, что приводит к повышению плотности радиоактивного содержимого. В этом случае максимальная мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от поверхности ТУК не превысит 0,1 мЗв/ч, что значительно ниже допустимой величины 10 мЗв/час.

Максимальное расчетное раскрытие стыка между верхней вторичной крышкой и корпусом контейнера SKODA VPVR/M не превышает 0,71 мм. Раскрытие стыка переходит в его замыкание (-0,2 мм) за время порядка 1,5 мс, при этом возможный выход активности значительно ниже допустимых значений.

Оценка потерь радиоактивного содержимого сделана для нормальных и аварийных условий перевозки на основе расчета герметичности. Основной вклад в выход активности вносит Kr-85 при нормальных и аварийных условиях перевозки. В качестве механизма массопереноса при проведении расчета принят конвективный перенос газовой смеси из контейнера в окружающую среду, вызванный перепадом абсолютных давлений. При нормальных условиях перевозки при перепаде давления 95 кПа максимальная потеря активности Kr-85 из упаковки составит для воздушной перевозки $3{,}2 \cdot 10^5$ Бк/ч, что много меньше допустимого значения $1 \cdot 10^7$ Бк/час (НП-053-04).

При аварийных условиях перевозки рассмотрен нестационарный процесс, вызванный перепадом давления между контейнером и окружающей средой. При этом принято, что в течение рассматриваемого времени (одна неделя в соответствии с НП-053-04), зазор между вторичной крышкой и корпусом контейнера не меняется и равен 0,71 мм и, соответственно, потеря активности Kr-85 из упаковки за одну неделю составит $3{,}6 \cdot 10^{12}$ Бк, что значительно меньше допустимого значения 10^{14} Бк.

В ходе расчетных исследований на этапе технического проекта были проведены также консервативные оценки ядерной безопасности, в ходе которых предполагалось изменение состояния ОТВС при усиленных аварийных воздействиях. Были рассмотрены два варианта: первый – деформация ОТВС; второй – разрушение ОТВС и гомогенное перемешивание топлива с водой в пределах ячеек чехла. В первом случае величина $К_{эфф}$ составила 0,725, во втором – 0,942. Поскольку по результатам испытания макет контейнера SKODA VPVR/M сохранил свою прочность и герметичность, можно утверждать, что требования по ядерной безопасности макета упаковки ТУК-145/С в аварийных условиях перевозки выполняются.

5. Натурные испытания макета упаковки

18 мая 2011 г. на полигоне ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» было проведено испытание макета упаковки ТУК-145/С в масштабе 1:2,5 на реактивно-катапультной установке (РКУ), моделирующее процесс соударения конструкции в условиях, соответствующих авиационной аварии (рис.5). Изготовитель макета Корпорация ВСМПО-АВИСМА.

Согласно протоколу испытаний, скорость столкновения макета упаковки ТУК-145/С с жесткой преградой мишенью составила 91,6 ± 0,9 м/с, угол встречи между осью упаковки и нормалью к поверхности мишени 6,8º ± 0,2º.

Рис. 5. Ракетный поезд с макетом упаковки ТУК-145/С на РКУ до начала испытания и состояние макета ТУК-145/С после испытаний

В результате дефектации макета контейнера после испытаний установлено:

1) форма повреждений ЗДК и его элементов сравнима с расчетной;

2) макет контейнера SKODA VPVR/M сохранил свою целостность, исходную форму и размеры (рис. 6). На внешней цилиндрической поверхности корпуса макета контейнера имеются незначительные вмятины и задиры. Крышки макета контейнера SKODA VPVR/M и их болтовые соединения сохранили свою целостность, форму и размеры. Деформация болтов и изменение момента установки болтов сравнимы с погрешностью измерений. Только две из четырех цапф (со стороны удара) срезаны внутренней оболочкой ЗДК, т.е. контейнер остался транспортабельным.

Рис. 6. Внешний вид макета контейнера SKODA VPVR/M после испытания

На основании анализа результатов расчетных исследований и экспериментальных данных о конечном состоянии макета ТУК-145/С было сделано заключение об их совпадении (таблица 2). Это позволяет использовать результаты расчетов для обоснования безопасности полномасштабного ТУК-145/С с ОТВС исследовательских реакторов в соответствии с требованиями Правил НП-053-04 и TS-R-1, МАГАТЭ по безопасности при перевозке воздушным транспортом.

Таблица 2. Данные расчетов и испытания на столкновение с преградой

Параметр	**Расчетные данные**	**Экспериментальные данные**
Деформация ЗДК, мм	122-159	70-100
Состояние болтовых соединений ЗДК	сохраняют целостность	сохраняют целостность
Состояние корпуса, крышки контейнера	сохраняют форму и целостность	сохраняют форму и целостность
Деформация болтов крепления крышек клапана и контейнера	в упругой области	в пределах погрешности измерения

Проведенный анализ состояния упаковки ТУК-145/С после испытания на реактивно-катапультной установке, имитирующего авиационную аварию, показал, что ядерная и радиационная безопасность согласно требованиям действующих норм и правил обеспечивается.

6. Сертификация конструкции и перевозки ТУК-145/С, варианты использования ТУК-145/С

Сертификация конструкции любой упаковки для перевозки радиоактивных материалов начинается с утверждения первоначального сертификата-разрешения на конструкцию упаковки, выданного компетентной организацией в стране изготовителя данной упаковки. Первый российский сертификат-разрешение № RUS/3166/CF-96 на конструкцию упаковки ТУК-145/С был выдан Государственной корпорацией «Росатом» в 2012 году. В него были включены несколько типов ОТВС ИР (ИРТ-2М, ИРТ-3М, ИРТ-4М, ВВР-М, ВВР-М2, ВВР-М5, ВВР-М7, ВВР-(С)М, С-36, ЭК-10, ТВР-С), но также в упаковке ТУК-145/С можно переводить другие виды радиоактивных материалов при проведении дополнительного анализа безопасности.

Организация воздушной транспортировки ТУК-145/С самолетами Ан-124-100/Ил-76 гибкая и зависит от транспортной и погрузочной инфраструктуры, имеющейся в наличии на объекте Грузоотправителя, и таким образом, возможны несколько вариантов сертификата на перевозку.

Ниже описаны два варианта перевозки упаковки ТУК-145/С бортами Ан-124-100 и один возможный вариант бортом Ил-76.

<u>Вариант 1: Комбинированная воздушная и автодорожная перевозка ТУК-145/С с ОТВС (Ан-124-100)</u>

Для безопасного транспортирования упаковки ТУК-145/С, содержащей контейнер SKODA VPVR/M с ОТВС, предполагается наличие хорошей дорожной инфраструктуры между грузоотправителем и аэропортом отправления, так как вес загруженного ТУК-145/С составляет около 30 т, к которому прибавляется вес автотранспорта. Кроме того, груз ТУК-145/С является негабаритным для автомобильной перевозки в ряде стран.

В данном случае контейнер SKODA VPVR/M с ОТВС загружаются в ЗДК на объекте грузоотправителя, затем ТУК-145/С транспортируется в аэропорт посредством специального полуприцепа и тягача. ТУК-145/С, уже закрепленный к полуприцепу, фронтально загружается тягачом в Ан-124-100 (рис. 7).

Следует отметить, что для комбинированной перевозки ТУК-145/С (автотранспортом и воздушным транспортом) требуется один сертификат.

Для данного варианта Государственная корпорация «Росатом» в 2013 году выпустила единый сертификат № RUS/3166/CF-96T (Rev.1), который был подтвержден Венгерским Агентством по ядерной энергии, и в 2013 году были осуществлены три перевозки ОЯТ ИР из Венгрии в Россию на переработку.

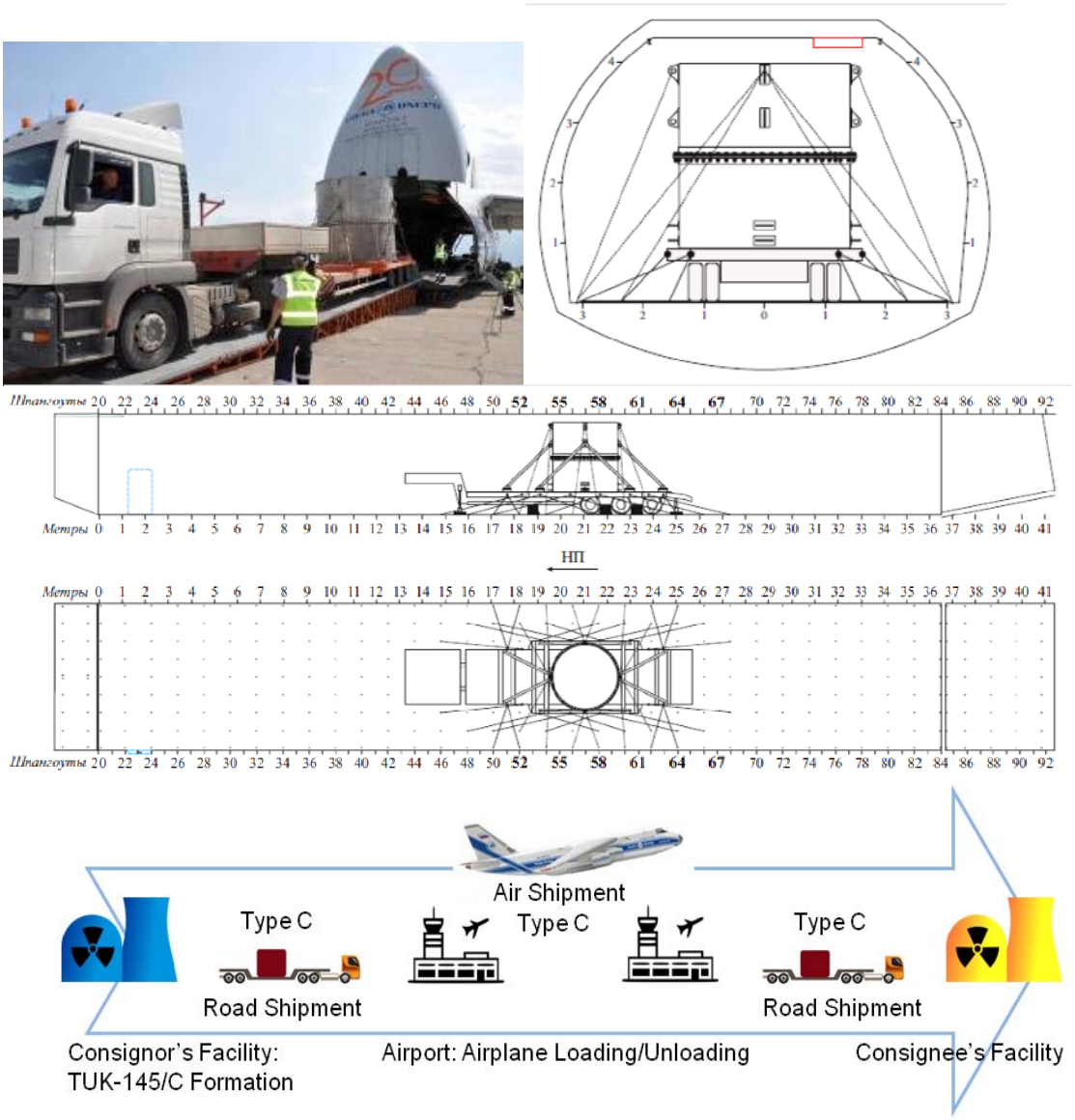


Рис. 7. Загрузка ТУК-145/С на борт Ан-124-100 посредством специального полуприцепа и упрощенная транспортная схема (вариант 1)

<u>Вариант 2: Автотранспортировка контейнера SKODA VPVR/M и воздушная перевозка ТУК-145/С (Ан-124-100)</u>

Данный вариант может быть безопасно применен для неразвитой дорожной инфраструктуры между объектом грузоотправителя и аэропортом отправления. В этом случае контейнер SKODA VPVR/M с ОТВС как сертифицированная упаковка типа В перевозится в аэропорт автотранспортом в специальном 20-футовом ISO-контейнере посредством соответствующего стандартного полуприцепа и грузовика. Вес SKODA VPVR/M с ОТВС с установленными демпферами составляет менее 13 т, вместе с ISO-контейнером вес груза не превышает 20 т.

В аэропорту SKODA VPVR/M загружается в заранее доставленный ЗДК, после чего сформированный ТУК-145/С грузится на борт Ан-124-100 посредством специальной роликовой системы (рис. 8).

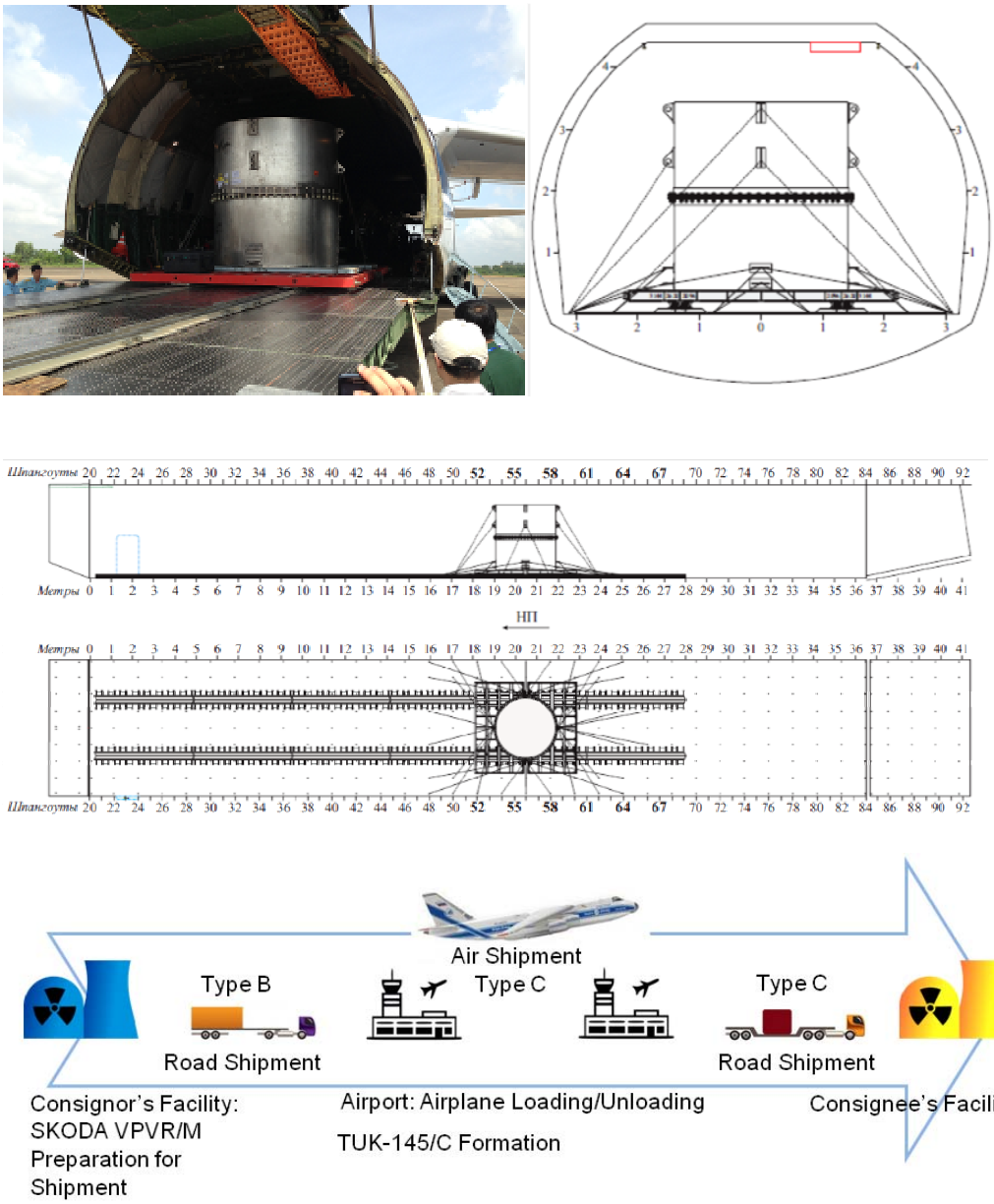


Рис. 8. Загрузка TUK-145/C на борт Ан-124-100 посредством специальной роликовой системы (вариант 2); Упрощенная транспортная схема по варианту 2

Следует заметить, что для второго варианта требуется два сертификата – на наземную перевозку SKODA VPVR/M и воздушную перевозку ТУК-145/С.

Для данного варианта Государственная корпорация «Росатом» в 2012 году выпустила сертификаты № RUS/3065/B(U)F-96T (Rev.7) и № RUS/3166/CF-96T (Rev.1), которые были подтверждены Вьетнамским министерством науки и технологий. Первая воздушная перевозка ОЯТ ИР в упаковке типа С из Вьетнама в Россию была выполнена в 2013 году.

Упаковку ТУК-145/С также можно перевозить меньшим по размеру самолетом Ил-76 в горизонтальном положении, используя специальную позиционирую раму – вариант 3 (рис. 9). Сравнение трех вариантов воздушной перевозки приведено в таблице 3.

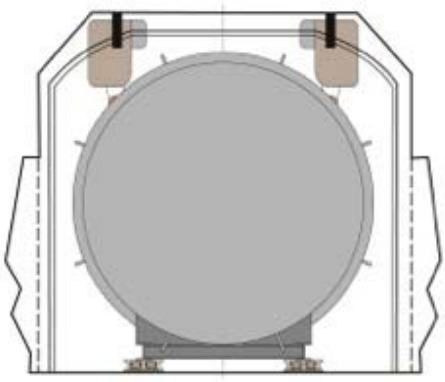


Рис. 9. Загрузка ТУК-145/С на борт Ил-76 посредством специальной рамы (вариант 3)

Таблица 3. Сравнение вариантов воздушной перевозки ТУК-145/С

Вариант 1	**Вариант 2**	**Вариант 3**
Масса одной упаковки с грузовиком – 47 т Вместимость – до 2 ТУК-145/С Общий вес груза – 94т *(не требуется подставки)*	Масса одной упаковки с подставкой – 32,2 т Вместимость – до 3 ТУК-145/С Общий вес груза – 104т *(с подставкой)*	Масса одной упаковки с рамой – 32 т Вместимость – 1 ТУК-145/С Общий вес груза – 38т *(с роликовой системой)*

Сертификация конструкции и перевозки для различных вариантов организации транспортировки ТУК-145/С в соответствии с Правилами МАГАТЭ может быть эффективно реализована при условии, что безопасность транспортировки должным образом обоснована.

Кроме перевозки ОЯТ исследовательских реакторов ТУК-145/С может быть использован для транспортировки:

- активных зон малогабаритных реакторов для переработки;
- фрагментов ОТВС энергоблоков для исследований;
- жидкого отработавшего ядерного топлива;
- высокоактивных радиоактивных отходов для хранения и захоронения;
- радионуклидных источников.

Использование воздушных перевозок РМ может помочь при достижении географически отдаленных, труднодоступных точек, при оптимизации графика поставок в больших программах или при ограниченном количестве транспортных упаковок. Воздушные перевозки являются более безопасными на длинных маршрутах, позволяют избежать провоза опасных грузов в непосредственной близости от населенных пунктов или природоохранных зон, избежать транзита через страны, где ведутся боевые действия, а также при возникновении экстремальных метеорологических условий.

Заключение

В настоящее время современные международные и национальные нормативно-правовые базы достаточно развиты и эффективно обеспечивают безопасность при воздушных перевозках ОЯТ при нормальных и аварийных условиях. Первая в мире упаковка типа С для воздушной перевозки ОЯТ ИР позволила достичь значительного прогресса в обеспечении безопасности, надежности и выполнения перевозок. Гибкая технология ТУК-145/С и возможности его международного лицензирования могут соответствовать требованиям для перевозок ОЯТ ИР на исследования, переработку или хранение, для перевозок фрагментов

ОТВС энергетических реакторов на послереакторные исследования, высокоактивных радиоактивных отходов или закрытых радиоактивных источников для утилизации, активных зон малогабаритных реакторов, жидкого отработавшего топлива ИР, а также для экстренных перевозок при военной или теоретической угрозе или в случаях экстремальных природных явлений.

В случае воздушной транспортировки или длительной перевозки радиоактивных материалов с пересечением территории нескольких стран необходима более высокая степень международной гармонизации требований к заявкам на выдачу сертификата-разрешения на конструкцию и перевозку упаковки. Это достигается путем разработки и внедрения новой справочной документации МАГАТЭ для заявителей и регулирующих органов, относительно заявочной документации на конструкцию и перевозку упаковки и ее рассмотрения на основе модели PDSR ЕС, которая успешно начала путь согласования между странами ЕС.

Список литературы

[1] Nuclear Control Institute, “Air Transport Accident Conditions: Comparison of International & U.S. Safety Standards for Plutonium Air Shipments” (http://www.nci.org/a/atactbl.htm).

[2] U. S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, “Plutonium Air Transportable Package Model PAT-1 - Safety Analysis Report”, NUREG-0361, June 1978.

[3] O.P. Barinkov, S.V. Komarov, A.E. Buchelnikov, V.I. Shapovalov, A.I. Morenko, “Preparation of the First Air Transport of Spent Fuel Certified to New Requirements”, Environmental Safety, No. 1, 2011 (special edition).

[4] S.V. Komarov, M.E. Budu, D.V. Derganov, O.A. Savina, I.M. Bolshinsky, S.D. Moses, L. Biro, “Licensing Air and Transboundary Shipments of Spent Nuclear Fuel”, International Conference on the Safe and Secure Transport of Radioactive Materials: The Next Fifty Years - Creating a Safe, Secure and Sustainable Framework, Vienna, Austria, 17-21 October 2011.