

4. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла: НП-070-06. – утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 05.09.2006: введ. 01.12.2006. – М., 2006.

5. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок: ПНАЭ Г-7-008-89 (с изменениями № 1 от 01.09.2000). – утв. Госатомнадзором России 01.01.1990: введ. 01.01.1990. – М., 2003.

ИВАШКИН А.И.

ООО НПФ «Сосны», г. Дмитровград, Россия

РАЗРАБОТКА УПАКОВКИ ТИПА С ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОЯТ ИР РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА, ВКЛЮЧАЯ ВОЗДУШНЫЙ

В докладе приведены основные этапы разработки первого в своем классе транспортного упаковочного комплекта для перевозки облученного ядерного топлива исследовательских реакторов всеми видами транспорта, включая воздушный.

Создание транспортного упаковочного комплекта, предназначенного для воздушной перевозки облученного ядерного топлива исследовательских реакторов (ОЯТ ИР), обсуждалось специалистами отрасли с 2007 года. В сентябре 2009 года НПФ «Сосны» принялась за разработку первого транспортного упаковочного комплекта данного класса.

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, которое должна была выдержать упаковка, являлось соударение с жесткой преградой на скорости 90 м/с. В связи с этим перед специалистами НПФ «Сосны» встал вопрос: «Создавать новый транспортный упаковочный комплект или усилить уже имеющийся транспортный контейнер?». Решение данного вопроса было принято в пользу усиления существующего транспортного упаковочного комплекта SKODA VPVR/М динамической защитой. Роль динамической защиты состоит в гашении основной части энергии транспортного контейнера при ударе о преграду. Механизм гашения представляет собой переход кинетической энергии ударяющегося тела в потенциальную энергию пластического деформирования защитных элементов. При этом допускается неполное гашение энергии удара защитными элементами, но обязательно ее снижение до уровней, при которых транспортный контейнер сохраняет свою целостность и герметичность.

На первом этапе разработки принято концептуальное решение о создании разборной динамической защиты, внутри которой размещается ТУК SKODA VPVR/М. Кроме того, прорабатывалась возможность использования существующих 20-футовых ISO-контейнеров в качестве оболочки для динамической защиты или оболочки с фитингами ISO-контейнера. Эс-

керы концептуальных вариантов таких упаковок типа С представлены на рис.1.

В настоящий момент в мире существует большое количество промышленных материалов, производители которых позиционируют их как поглощающие энергию при ударе. Для оценки возможности применения промышленных демпфирующих материалов в качестве элементов защитной системы необходимо было изучить их прочностные свойства. Критериями отбора при анализе свойств промышленных демпфирующих материалов являлся ряд параметров, наиболее важными из которых для поставленной задачи являлись зависимость сопротивления усилию сжатия от деформации, коэффициент динамического упрочнения, плотность, изотропность энергопоглощающих свойств. Однако при выборе наиболее «выгодного» материала для системы механической защиты необходимо было уделить внимание как механическим показателям, так и ценовому критерию, а также его доступности.

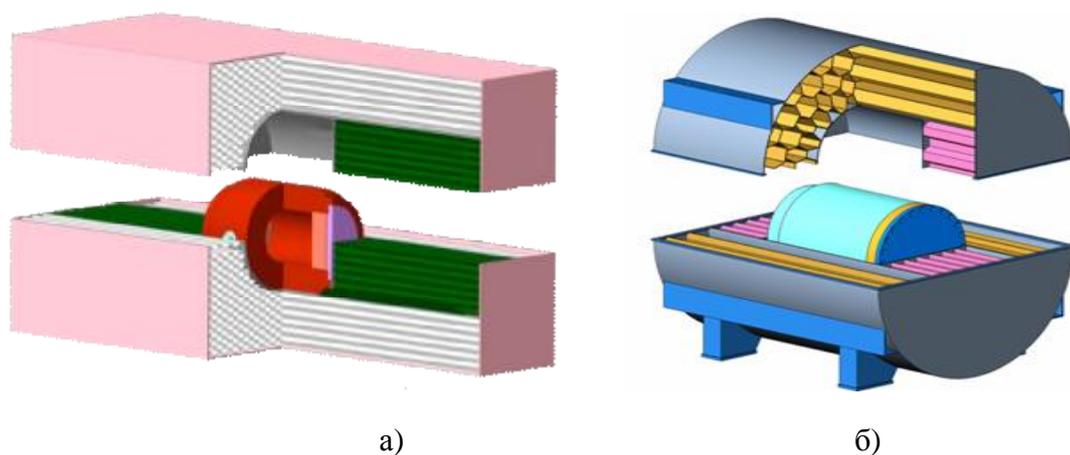
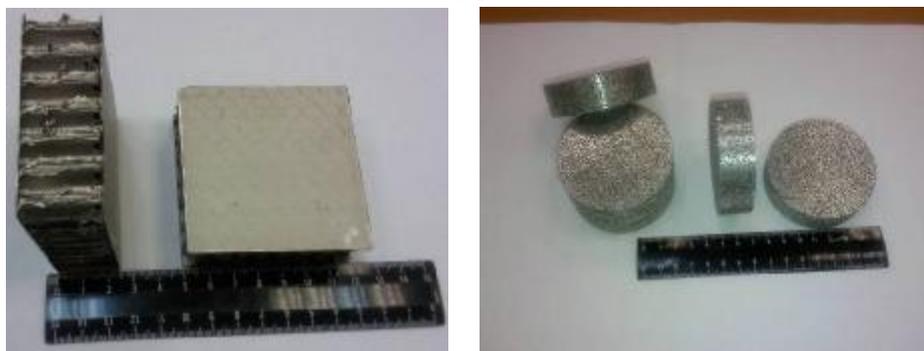


Рисунок 1. Концептуальный вариант упаковки типа С:
а – на базе ISO-контейнера, б – с фитингами ISO-контейнера

Все промышленные демпфирующие материалы можно разделить на следующие основные группы:

- древесина;
- сотовые панели;
- пенометаллы.

Для опытного исследования механических свойств в декабре 2009 года были приобретены сотовые панели производства ОАО «Металлист-Самара» (г. Самара), а также пенометаллы производства ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод» (г. Каменск-Уральский) и ООО «Композитные материалы» (г. Кировград), представленные на рис. 2. Древесина не рассматривалась, т.к. в настоящее время опубликовано большое количество результатов исследований ее механических свойств.

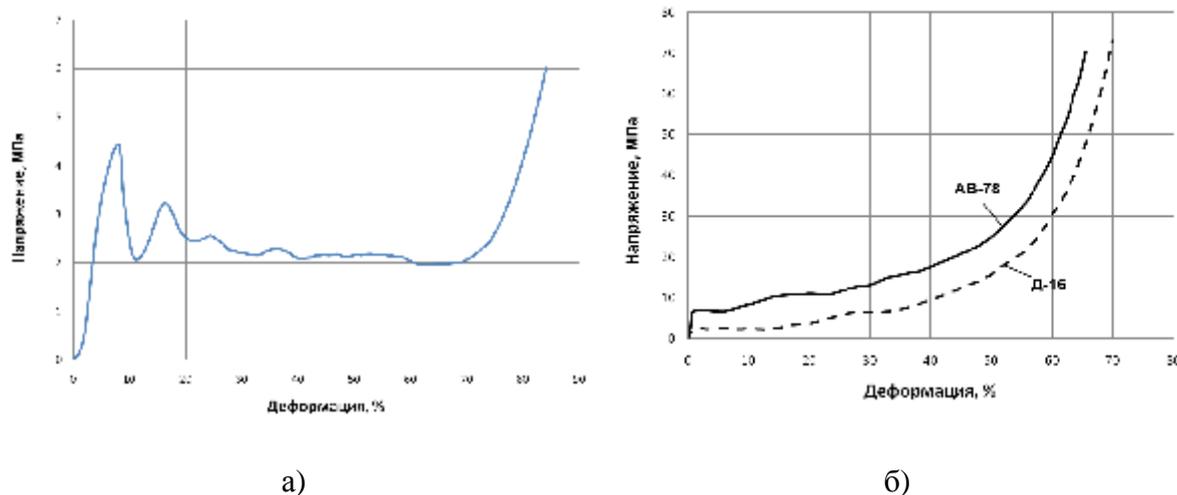


а)

б)

Рисунок 2. Опытные образцы сотовых панелей (а) и пеноалюминия (б)

На рисунке 3 представлены результаты исследований прочностных свойств опытных образцов.



а)

б)

Рисунок 3. Диаграммы нагружения образцов:
а – сотовой панели из стали 12Х18Н10Т, б – пеноалюминия

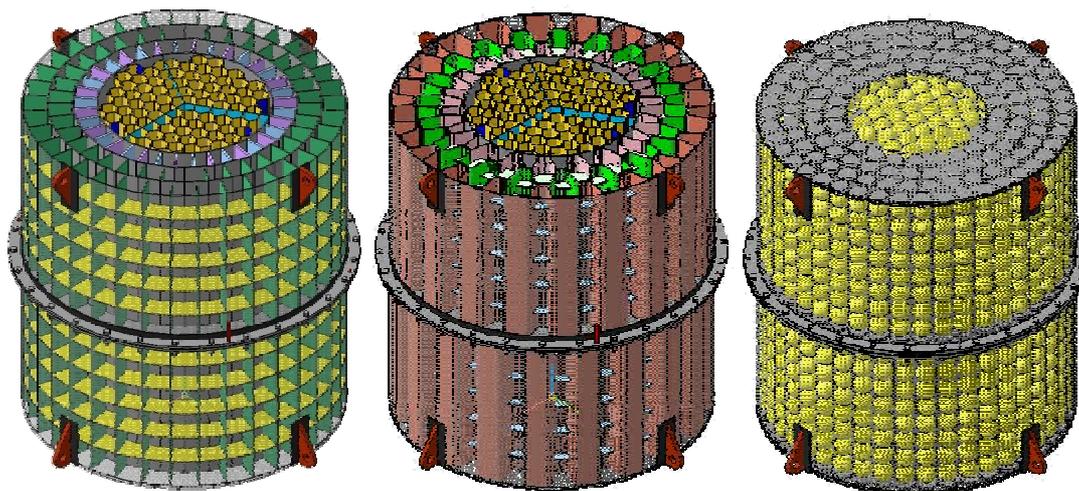
Рассматриваемые сотовые панели и пеноалюминий имеют недостаточную прочность и значительно уступают по прочностным свойствам древесине, прочность на сжатие которой достигает 38 МПа для сосны и 22 МПа для бальзы. Однако упаковка типа С с динамической защитой из древесины, в лучшем случае, весила бы 42 тонны, что неприемлемо. 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.

Определившись с необходимостью разработки специальной системы демпфирования для контейнера SKODA VPVR/M, в период с февраля по май 2010 года специалисты НПФ «Сосны» совместно с коллегами из

ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ» разработали и рассчитали три варианта конструкции динамической защиты, представленные на рис. 4:

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



а)

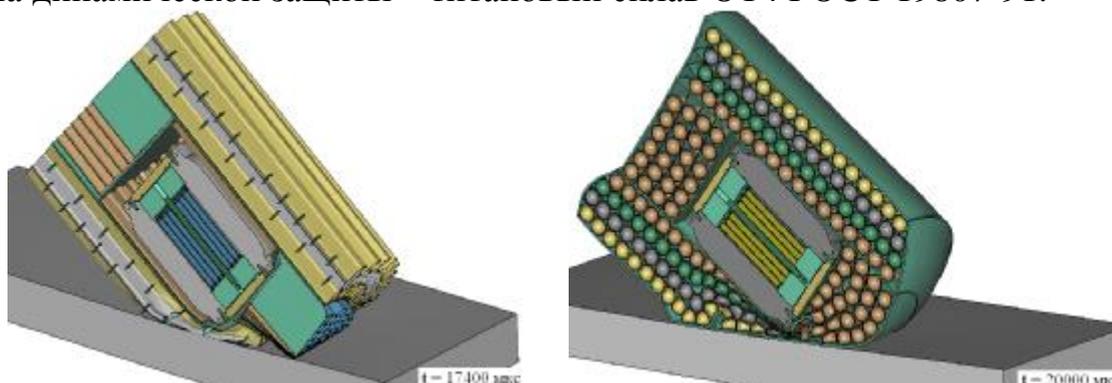
б)

в)

Рисунок 4. Варианты упаковки типа С на этапе эскизного проекта:

а – «Косынки», б – «Профили», в – «Сферы»

После проработки каждого из вариантов стало ясно, что наиболее перспективными и технологически реализуемыми являются «Профили» и «Сферы». Были выполнены расчеты прочности конструкции для обоих вариантов. Результаты, полученные с помощью численного моделирования (рис. 5) соударения упаковки типа С с жесткой преградой на скорости 90 м/с, показали возможность создания упаковки такого класса. Одним из важнейших результатов этапа эскизного проекта стало определение материала динамической защиты – титановый сплав ОТ4 ГОСТ 19807-91.



а)

б)

Рисунок 5. Результаты численного моделирования процесса соударения упаковки типа С с жесткой преградой на скорости 90 м/с (этап эскизного проекта):

а – вариант «Профили», б – вариант «Сферы»

В июне 2010 года после подтверждения возможности создания транспортного упаковочного комплекта для воздушной перевозки НПФ «Сосны» получила техническое задание на разработку упаковки типа С, утвержденное Департаментом ядерной и радиационной безопасности ГК «Росатом» и согласованное со всеми заинтересованными организациями отрасли: Ростехнадзор, ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России», ФГУП «ПО «Маяк», ООО «Авиакомпания «Волга-Днепр». Тогда же транспортному упаковочному комплекту был присвоено обозначение ТУК-145/С.

Основными требованиями технического задания были:

- 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/М 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. В таблице 1 представлены результаты, полученные для вариантов «Профили» и «Сферы».

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/М, кгс/мм ² :		
- осевое соударение;	62	35
- боковое соударение;	64,5	30
-угловое соударение	60	45

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

На этапе технического проекта была более детально проработана конструкция ТУК-145/С, представленная на рис. 6. ЗДК, представляющий из себя цилиндр, состоит из двух сварных частей, внутрь которых упорядоченно уложены сферы, являющиеся демпфирующими элементами.

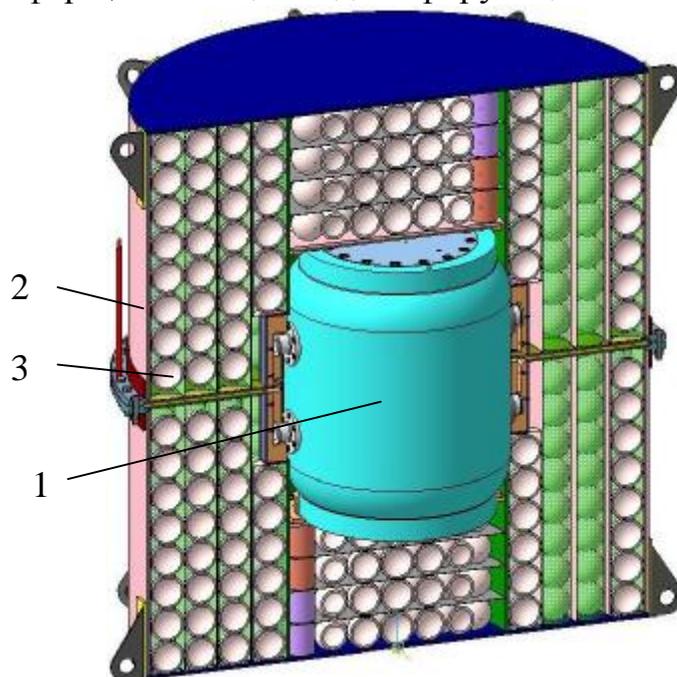


Рисунок 6. Конструкция ТУК-145/С (этап технического проекта)
1 – контейнер SKODA VPVR/М, 2 – ЗДК, 3 – сфера

Расчет аварийных ситуаций был выполнен с помощью численных методов и включал следующие ситуации в соответствии с правилами TS-R-1 и НП-053-04:

- 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 (см. рис. 7);
- имитация пожара в течение 60 минут;
- столкновение с жесткой преградой на скорости 90 м/с (см. рис. 8).

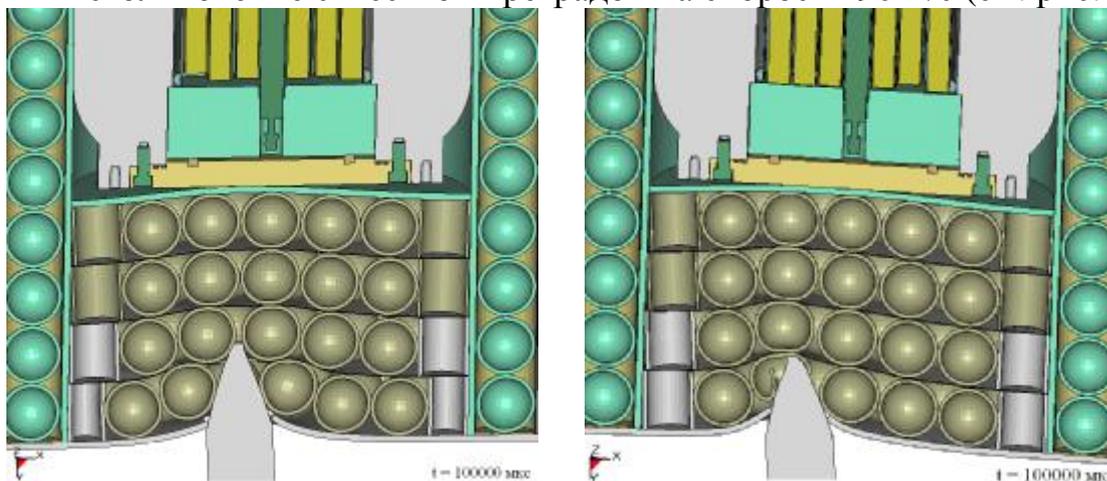


Рисунок 7. Результаты численного моделирования падения ТУК-145/С на штырь с высоты 3 м (показан момент времени при снижении скорости ТУК-145/С до 0)

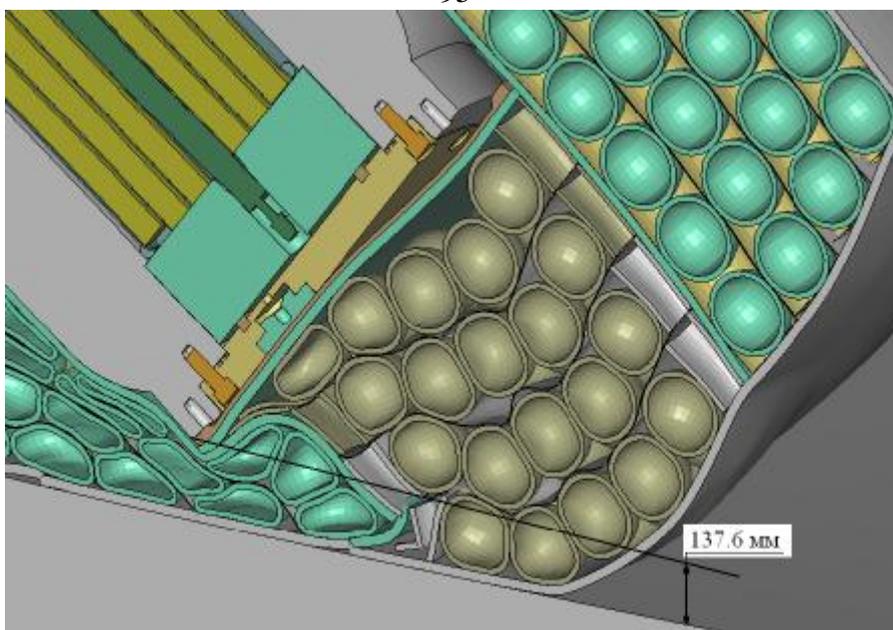


Рисунок 8. Результат численного моделирования соударения ТУК-145/С с жесткой преградой на скорости 90 м/с (показан момент времени при снижении скорости ТУК-145/С до 0)

Моделирование соударения ТУК-145/С с жесткой преградой выполнялось для углового соударения, т.е. ТУК-145/С находится в наиболее опасной ориентации с точки зрения безопасности контейнера SKODA VPVR/M.

Результаты численного моделирования аварийных ситуаций для ТУК-145/С согласно правил TS-R-1 и НП-053-04 подтверждают 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, то в завершающей фазе технического проекта специалистами НПФ «Сосны» был спроектирован макет ТУК-145/С, являющийся его уменьшенной копией. Изготовление макета ТУК-145/С в масштабе 1:2,5 завершилось в апреле 2011 года. К этому времени была разработана и утверждена ГК «Росатом» программа испытаний макета ТУК-145/С на соударение с жесткой преградой на скорости 90 м/с.

По распоряжению ГК «Росатом» №1-1/38-р от 30.03.2011 была сформирована комиссия по проведению испытаний, включающая представителей Департамента ядерной и радиационной безопасности ГК «Росатом», ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», НПФ «Сосны», ОАО «НЗКХ», ФГУП «АТЦ СПб», Ростехнадзора, ФМБА России, ОАО «ТВЭЛ». До испытаний был выполнен входной контроль макета с фиксацией параметров макета.

Испытания макета ТУК-145/С состоялись 18 мая 2011 года на ракетном треке ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ» (рис. 9). После проведения испытаний был выполнен осмотр и анализ состояния макета ТУК-145/С (рис. 10).



Рисунок 9. Макет ТУК-145/С в масштабе 1:2,5 на ракетном треке



Рисунок 10. Макет ТУК-145/С после испытаний

Результаты испытаний зафиксированы в протоколе дефектации макета ТУК-145/С и акте о результатах проведения испытаний, утвержденным Первым заместителем Генерального директора ГК «Росатом». Члены комиссии по проведению испытаний приняли решение о:

- сходимости экспериментальных данных с расчетными;
- допущении использования результатов расчетов обоснования безопасности ТУК-145/С с облученными ТВС исследовательских реакторов в соответствии с требованиями правил TS-R-1 и НП-053-04 по безопасности при перевозке воздушным транспортом.

После успешных испытаний макета ТУК-145/С специалисты НПФ «Сосны» разработали рабочую конструкторскую документацию защитно-демпфирующего кожуха ТУК-145/С. В настоящее время завершается изготовление ТУК-145/С, являющегося первой в мире упаковкой типа С.