

## Некоторые направления модернизации демпфирующих устройств крупногабаритных контейнеров

А. С. Васильев, И. Р. Шегельман, А. В. Романов

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

Анализ, проведенный в рамках реализации комплексного проекта по созданию ресурсосберегающего производства экологически безопасного транспортно-упаковочного комплекта для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива, выполняемого Петрозаводским государственным университетом совместно с машиностроительным предприятием ОАО «Петрозаводскмаш» [1], [2], и соответствующий патентно-информационный поиск [3] позволили определить перспективные направления модернизации демпферов крупногабаритных контейнеров, включая транспортно-упаковочные контейнеры для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива.

Транспортно-упаковочный комплект для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива включает в себя контейнер, служащий емкостью для размещения тепловыделяющих сборок с отработавшим ядерным топливом, на внешней поверхности которого монтируются специальные защитные устройства, предназначенные для защиты содержимого контейнера от повреждения и сохранения герметичности контейнера и тем самым предотвращения попадания радиоактивного излучения в окружающую среду при возникновении аварийных ситуаций.

Требования в отношении обеспечения безопасного использования транспортно-упаковочного комплекта при транспортировке и хранении отработавшего ядерного топлива изложены в ряде нормативных документов среди которых ПБЯ-06-00-96, НП-053-04, НРБ-99/2009, ГОСТ 25461-82, ГОСТ 26013-83, ГОСТ Р51964-2002, ГОСТ Р15.201-2000, ОСПОРБ-99/2010, правилам МАГАТЭ TS-R-1 и др.). Так, например, согласно НП-053-04 «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» упаковка контейнера, входящего в состав транспортно-упаковочного комплекта для транспортировки и хранения отработавшего ядерного топлива, должна успешно пройти ряд испытаний в числе которых:

- испытание на удар при свободном падении на мишень, представляющую собой плоскую горизонтальную поверхность, с высоты 9 м. Образец должен падать на мишень так, чтобы причинялся максимальный ущерб испытываемым элементам, обеспечивающим безопасность. Высота свободного падения, измеряется от нижней точки образца до поверхности мишени;

- испытание на удар при свободном падении на мишень, представляющую собой сплошной штырь круглого сечения диаметром 15 см, высотой 20 см, изготовленный из мягкой стали. Торец штыря – плоская горизонтальная поверхность с закруглением краев не более 6 мм. Штырь должен быть неподвижно закреплен на мишени-основании в вертикальном положении.

В связи с вышесказанным для безопасной эксплуатации контейнеров, входящих в состав транспортно-упаковочных комплектов для транспортировки и хранения отработавшего ядерного топлива, на их внешней поверхности монтируют специальные демпфирующие устройства. Назначение данных устройств заключается в устранении вредных последствий возможных ударных нагрузок, воздействующих на контейнер и защите содержимого контейнера от повреждения и нарушения его герметичности при неаккуратном обращении с ним или возникновении аварийной ситуации.

Анализ отечественных и зарубежных конструкций транспортно-упаковочных комплектов в состав которых входит контейнер, снабженный демпфирующими устройствами показал, что демпфирующие устройства можно разделить на устройства сконструированные с использованием «мягкого» и «жесткого» материала [4].

В качестве «мягкого» демпфирующего материала, наряду с алюминием, медью (патент EP 1005049), предлагается использовать древесину (патенты SU 1144632, RU 56704), фиброкерамзитобетон (патент RU 26677) и синтетические пеноматериалы (полиуретановые пены, фенольные пены). В качестве «жесткого» – различные стали, в т. ч. и легированные, а

амортизаторы изготавливают, как правило, в виде труб (патенты RU 2105364, RU 2313144 и RU 2400843) или пластин различной геометрической формы (патенты US 4627956, RU 8761 и US 6280127) [4].

Стальные амортизаторы с «жестким каркасом» имеют значительную массу. Алюминий применяют при создании секционных амортизаторов в виде «сот» или в виде вспененного алюминия (материала с закрытыми порами, получаемого методом вспенивания расплавленного или полурасплавленного алюминия – пеноалюминия). Пеноалюминий обладает хорошей демпфирующей способностью при ударе, обладает хорошей теплостойкостью, негорюч, хорошо обрабатывается, имеет низкую гигроскопичность, что обуславливает морозостойкость и отсутствие трещин при перепаде температур, обладает невысокой массой и обеспечивает жесткость в 15 раз выше листовых конструкций. Конструкции из пеноалюминия хорошо противостоят не только прямому удару, но и удару под любым углом, однако технология их производства находится на начальной стадии, они дороги, а их свойства еще недостаточно изучены [1].

При эксплуатации транспортно упаковочных комплектов на контейнеры устанавливается как правило два демпфирующих устройства одно со стороны днища с частичным охватом боковой поверхности, второе по конструкции аналогичное первому со стороны крышки контейнера также с частичным охватом его боковой поверхности.

В результате проведенного исследования были установлены требования, которым должны удовлетворять конструкция демпфирующих устройств.

Демпфирующий материал, используемый в конструкции демпферного устройства должен удовлетворять следующим требованиям:

- высокая способностью поглощать и рассеивать энергию удара;
- невысокая плотность материала, так как от нее зависит масса демпфирующего устройства и как следствие масса всего транспортно-упаковочного комплекта. С учетом того, что создаваемый в рамках указанного выше комплексного проекта транспортно-упаковочный комплект будет обладать повышенной вместимостью (до 18 тепловыделяющих сборок), а его масса превысит 120 тонн, то снижение массы конструкции представляется актуальной задачей;
- доступность материала;
- возможность механической обработки;
- минимальная стоимость.

Требования к конструкции демпферного устройства:

- эффективное гашение вредной энергии удара при падении в вертикальном, наклонном и горизонтальном положениях контейнера;
- безопасность в эксплуатации;
- технологичность изготовления;
- минимальная масса;
- не должны препятствовать отводу тепла от корпуса контейнера. В противном случае может произойти его перегрев, что может стать причиной возникновения неконтролируемой ядерной реакции содержимого контейнера;
- удобство в эксплуатации;
- обеспечение устойчивого положения контейнера в горизонтальном и вертикальном положениях при выполнении погрузочно-разгрузочных и транспортных операций;
- минимальная стоимость.

В основе конструкции амортизаторов контейнеров для перевозки и хранения отработанного ядерного топлива лежит принцип превращения кинетической энергии удара в энергию формоизменения. При этом рабочие характеристика демпфирующего устройства зависят не только от вида используемого демпфирующего материала, но и от конструктивных и технологических решений, используемых при его проектировании и изготовлении.

Проведенные исследования [1], [2], [3], [4] и др. показали перспективность использования демпфирующих устройств, состоящих из металлического кожуха, заполненного демпфирующим материалом. При этом конструкция кожуха должна быть таковой, чтобы при

установке контейнера в вертикальном или горизонтальном положениях на основании она выдерживала весовую нагрузку контейнера без деформации, обеспечивая его устойчивое положение. Кроме того, металлическая оболочка будет способствовать отводу тепла от корпуса контейнера. Внутреннее пространство оболочки заполняется демпфирующим материалом, причем для повышения технологичности сборки демпфирующего устройства внутреннее пространство его оболочки может быть разделено на секции посредством металлических перегородок.

При выборе демпфирующего материала одним из критериев сравнительной оценки выступают удельные показатели, определяемые отношением механической характеристики (предел прочности, модуль упругости, ударная вязкость, твердость) к ее плотности. Удельные характеристики имеют особое значение, когда от конструкции требуется высокая прочность и способность поглощать удар (зависит от модуля упругости) при малом весе.

Механические характеристики некоторых материалов приведены в таблице 1. В таблице 2 представлены их удельные характеристики.

Таблица 1 – Механические характеристики материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, МПа	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	Твердость
Сталь конструкционная	7800	400	2·10 <sup>5</sup>	75	135
Алюминий технический	2700	89	7,1·10 <sup>4</sup>	14	25
Пеноматериалы	650	12	7,3·10 <sup>3</sup>	50	60
Древесина	600	52	1,4·10 <sup>4</sup>	7,4	50

Таблица 2 – Удельные характеристики материалов

Материал	Удельная прочность, МПа	Удельный модуль упругости, МПа	Удельная ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	Удельная твердость
Сталь конструкционная	0,05	25,64	0,01	0,02
Алюминий технический	0,03	26,30	0,01	0,01
Пеноматериалы	0,02	11,23	0,08	0,09
Древесина	0,09	23,33	0,01	0,08

Как видно из таблицы 2 по удельной прочности древесина вполне конкурентоспособна с другими современными материалами. Кроме того, древесные материалы обладают высокой способностью поглощать энергию удара. При длительной нагрузке древесина ведет себя как весьма податливое тело, деформации которого велики, а при кратковременной нагрузке, соответствующей удару, древесина обладает свойствами сравнительно жесткого малодеформируемого тела. Древесина имеет сравнительно малую плотность, хорошо механически обрабатывается, является доступным и сравнительно дешевым материалом.

Исходя из вышесказанного и данных, приведенных в таблицах 1 и 2 можно сделать вывод о том, что целесообразно в качестве демпфирующего материала в конструкции демпфирующих устройств контейнеров, предназначенных для транспортировки и хранения отработанного ядерного топлива, использовать древесину.

На основании исследований, проводимых в рамках реализации программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета и комплексного проекта по созданию ресурсосберегающего производства экологически безопасного

транспортно-упаковочного комплекта для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива, выполняемого Петрозаводским государственным университетом совместно с машиностроительным предприятием ОАО «Петрозаводскмаш» были найдены новые технические решения по устройству и конструктивному исполнению демпферных устройств для контейнеров, входящих в состав транспортно-упаковочного комплекта для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива.

Найденные технические решения защищены патентами на полезную модель [5], [6], [7]. Особенностью разработанных конструкций является то, что в них в качестве демпфирующего материала используется древесина, при этом учтены:

- закономерности изменения физико-механических свойств древесины соответствующие схеме цилиндрической анизотропии с тремя плоскостями: продольной, радиальной и тангенциальной;

- возможности изменения физико-механических свойств древесины за счет ее модифицирования путем деформации под давлением, в том числе и с предварительной гидротермической обработкой;

- использование синергетического эффекта за счет применения сочетания древесных и металлических демпфирующих элементов, а также исполнения демпфирующего наполнителя из деревянных элементов, заключенных в индивидуальный металлических кожух.

Выявленные перспективные направления модернизации могут быть использованы при разработке демпферов крупногабаритных контейнеров, включая транспортно-упаковочные контейнеры для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива.

Работа ведется в рамках реализации Программы стратегического развития ПетрГУ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по договору № 13.G25.31.0066 по реализации комплексного проекта «Создание ресурсосберегающего производства экологически безопасного транспортно-упаковочного комплекта для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива».

## Литература

1. Шегельман И. Р., Щукин П. О. Интеграция инновационного взаимодействия вуза и отечественного машиностроительного предприятия при реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства // Глобальный научный потенциал, 2011, № 8. – С. 136-139.

2. Васильев А. С., Шегельман И.Р., Романов А.В. Создание ресурсосберегающего производства экологически безопасного транспортно-упаковочного комплекта для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива // Наука и бизнес: пути развития. – 2012. – № 1(07). – С. 62-65.

3. Васильев А. С., Ершов А. В. Особенности патентного поиска в области создания транспортно-упаковочного комплекта для отработавшего ядерного топлива // Ученые записки Петрозаводского государственного университета: Научный журнал. Вып. 6(119). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. С. 78-80.

4. Васильев А. С., Романов А.В., Шегельман И.Р. К выбору конструкции амортизатора транспортного упаковочного комплекта для хранения и транспортировки отработавшего ядерного топлива // Глобальный научный потенциал: Научно-практический журнал. Вып. 9. СПб, 2011. С. 56-58.

5. Пат. 114739 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> F 16 F 7/00, G 21 F 5/00, B 65 D 81/02. Демпферное устройство контейнера для транспортировки и хранения отработавшего ядерного топлива / Васильев А.С., Романов А.В., Шегельман И.Р., Гуськов В.Д.; заявитель и патентобладатель Петрозаводский государственный университет. – № 2011140208/11; заявл. 03.10.2011; опубл. 10.04.2012. Бюл. № 10 – 9 с.: ил.

6. Пат. 118620 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> G 21 F 5/00. Защитно-демпфирующее устройство контейнера / Шегельман И.Р., Васильев А.С. Романов А.В.; заявитель и патентобладатель Петрозаводский государственный университет. – № 2012110859/12; заявл. 21.03.2012; опубл. 27.07.2012. Бюл. № 21 – 8 с.: ил.

7. Пат. 118788 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> G 21 F 5/00. Демпфер контейнера для транспортировки и хранения отработавшего ядерного топлива / Васильев А.С. Романов А.В., Шегельман И.Р., Гуськов В.Д.; заявитель и патентобладатель Петрозаводский государственный университет. – № 2011140207/12; заявл. 03.10.2011 ; опубл. 27.07.2012. Бюл. № 21 – 9 с.: ил.