

УДК 621.64+629.354

# Технические средства для обеспечения безопасности при транспортировании и хранении потенциально опасных грузов (защитный контейнер)

**А. А. Бадыгеев, М. П. Кужель,  
Т. А. Морозова, Е. П. Пономарева,  
Ю. Н. Румянцева, Р. М. Тагиров**

*Представлено описание технических средств, разработанных для обеспечения безопасности при транспортировании и хранении потенциально опасных грузов в защитном контейнере, позволяющих исключить или снизить до приемлемого уровня негативные последствия аварийных ситуаций (пожара, падения, попадания пуль стрелкового оружия, воздействия ударной волны и осколков взрывных устройств). Кроме средств защиты от указанных воздействий, защитные контейнеры должны оснащаться системой разгерметизации, фильтрации и рециркуляции внутреннего объема контейнера, системой рекомбинации и поглощения опасных газообразных компонентов, содержащихся в гермообъеме контейнера, системой аппаратного мониторинга состояния упакованного груза и газовой среды, системой дистанционной идентификации и контроля состояния упаковок. Применение защитного контейнера с установленными системами снизит возможный ущерб, наносимый авариями, и повысит безопасность обращения с контейнером и потенциально опасным грузом, особенно при процедурах, связанных со вскрытием упаковки.*

## *Введение*

Транспортирование и временное хранение изделий, разрабатываемых во ВНИИЭФ и на других объектах ЯОК и являющихся потенциально опасными грузами, осуществляется в универсальных защитных контейнерах (ЗК), которые, согласно предъявляемым требованиям, обеспечивают высокую защищенность упакованных изделий при эксплуатационных (атмосферная влага, пыль, инсоляция и т. д.) и аварийных воздействиях. Конструкции современных ЗК оснащены техническими средствами для обеспечения безопасности при транспортировании и хранении потенциально опасных грузов, позволяющими исключить или снизить до приемлемого уровня негативные последствия аварийных ситуаций (пожара, падения, попадания пуль стрелкового оружия, воздействия ударной волны и осколков взрывных устройств, комбинации воздействий и т. д.).

Кроме средств защиты от указанных воздействий, ЗК должны оснащаться системой разгерметизации, фильтрации и рециркуляции внутреннего объема контейнера, системой рекомбинации

и поглощения опасных газообразных компонентов, содержащихся в гермообъеме контейнера, системой аппаратного мониторинга состояния упакованного груза и газовой среды (СДИК). Применение ЗК с установленными системами позволит значительно снизить или полностью исключить опасность газовых сред, образующихся в гермообъеме контейнеров; идентифицировать объект (учетный номер ЗК); контролировать факты доступа и аварийных воздействий, а также снизить возможный ущерб, наносимый авариями, и повысить безопасность обращения с упаковкой потенциально опасного груза в контейнере, особенно при процедурах, связанных со вскрытием упаковки.

### ***Защитные контейнеры для безопасного транспортирования и хранения потенциально опасных грузов***

Защитный контейнер – это устройство, предназначенное для размещения и защиты потенциально опасного груза от внешних воздействий заданного уровня и осуществления его технического обслуживания, транспортирования и хранения.

В соответствии с требованиями технического комитета по грузовым контейнерам Международной организации по стандартизации (ISO) контейнер должен обладать:

- постоянной технической характеристикой и достаточной прочностью для многократного использования;
- специальной конструкцией, обеспечивающей перевозку грузов одним или несколькими видами транспорта без промежуточной выгрузки содержимого контейнера;
- приспособлениями, обеспечивающими быстрое перемещение с одного вида транспорта на другой;
- конструкцией, которая позволяет легко загружать и выгружать контейнер.

ЗК является неотъемлемой частью упаковки груза. По определению ГОСТ 17527-2003 упаковкой является средство или комплекс средств, обеспечивающих защиту груза от повреждения и потерь, воздействия окружающей среды, загрязнений, а также процесс обращения груза.

Предъявляемые к ЗК требования по безопасности разработаны с учетом правил МАГАТЭ, при этом дополнительно введены требования по устойчивости упаковок к специальным видам воздействий.

Общие требования к конструкции упаковки:

- требования по обеспечению специальных видов безопасности;
- требования по обеспечению безопасности при регламентированных уровнях аварийных воздействий;
- методы испытаний;
- критерии устойчивости упаковок к видам воздействий.

### ***Технические требования, предъявляемые к ЗК с потенциально опасным грузом в нормальных условиях эксплуатации и при аварийных воздействиях***

Основные технические требования, предъявляемые к ЗК с потенциально опасным грузом в нормальных условиях эксплуатации и при аварийных воздействиях, представлены в таблице.

Технические требования, предъявляемые к ЗК

Нормальные условия эксплуатации	Аварийные воздействия
<ul style="list-style-type: none"> <li>– обеспечение транспортирования потенциально опасных грузов без нарушения их качеств всеми видами транспорта;</li> <li>– сохранение регламента погрузочно-разгрузочных работ, размещения и крепления в транспортных средствах;</li> <li>– герметичность внутренней полости;</li> <li>– отсутствие ограничений на климатические условия эксплуатации потенциально опасного груза;</li> <li>– наличие радиационной защиты;</li> <li>– оснащение средствами защиты, затрудняющими доступ к упакованному грузу</li> </ul>	<p>ЗК должны обеспечивать безопасность при следующих аварийных воздействиях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожары производственных зданий, хранилищ и транспортных средств;</li> <li>– транспортные аварии;</li> <li>– падение контейнера с грузом при проведении погрузочно-разгрузочных работ;</li> <li>– падение предметов на контейнер;</li> <li>– затопление контейнера с упакованным грузом при падении в воду (максимальная глубина затопления – до 15 м);</li> <li>– взрыв соседнего, упакованного в контейнер изделия при групповом размещении упаковок потенциально опасных грузов;</li> <li>– поражение пулями стрелкового оружия и осколками</li> </ul>

**Технические средства для обеспечения безопасности при транспортировании и хранении потенциально опасных грузов**

На рис. 1 представлена типовая схема конструкции защитной упаковки для хранения и транспортирования потенциально опасных грузов.

Основными составными элементами в структуре системы обеспечения безопасности упаковок являются:

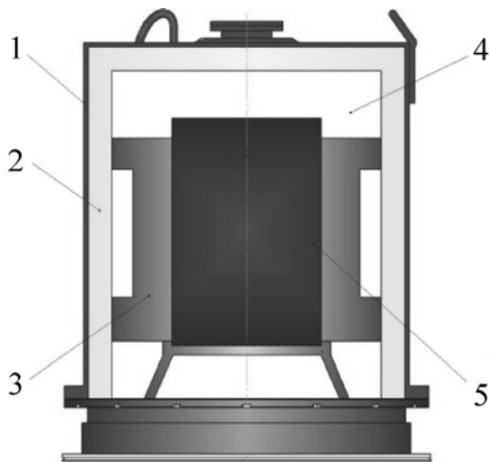


Рис. 1. Типовая схема конструкции защитной упаковки для хранения и транспортирования потенциально опасных грузов: 1 – корпус контейнера; 2 – элементы защиты от внешних поражающих факторов; 3 – элементы упаковки; 4 – гермообъем контейнера; 5 – упакованный потенциально опасный груз

- система дистанционной идентификации и контроля состояния упаковок потенциально опасных грузов в ЗК (СДИК-ЗК);
- система аппаратного мониторинга состояния упакованного груза и газовой среды в гермообъеме контейнера;
- система разгерметизации и фильтрации, рециркуляции (принудительной замены газовой среды) внутреннего объема контейнера;
- система поглощения и рекомбинации опасных газообразных компонентов, содержащихся в гермообъеме контейнера.

Конструктивно объем для размещения упаковываемого груза в контейнере предполагает наличие достаточного пространства для размещения как самого упаковываемого потенциально опасного груза с элементами упаковки, так и средств контроля и снижения опасности газовых сред. На рис. 2 представлена схема типовой упаковки и контроля потенциально опасного груза с элементами, обеспечивающими снижение потенциальной опасности газовых сред, образующихся во внутреннем объеме защитного контейнера.

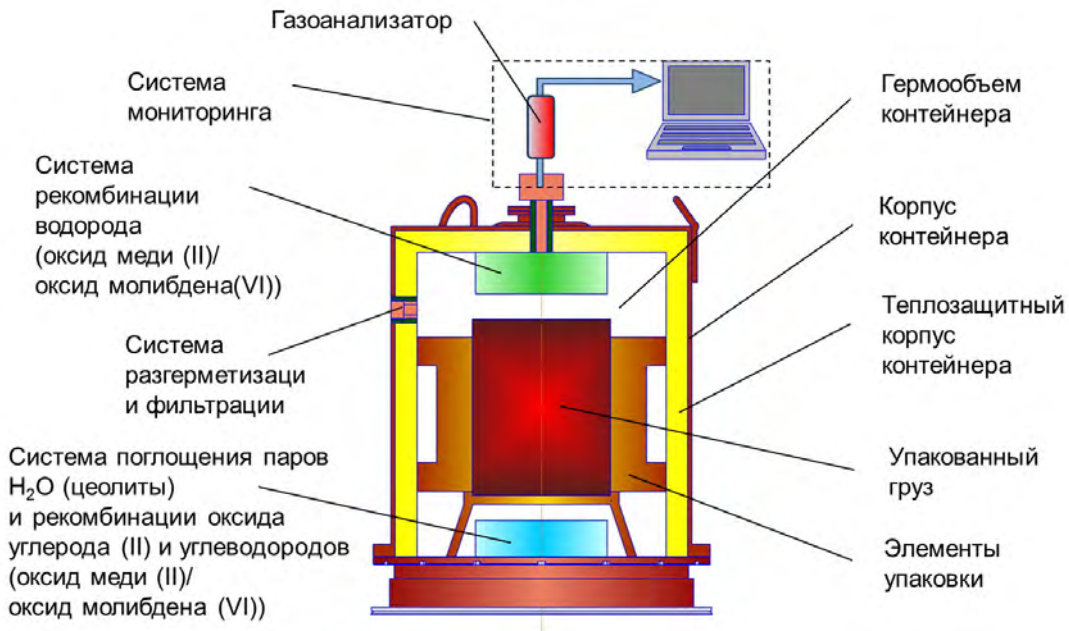


Рис. 2. Конструкция ЗК для потенциально опасных грузов, оснащенного системами обеспечения безопасности

## Система мониторинга

Основой обеспечения надежности и безопасности упаковок должна стать система аппаратного мониторинга состояния упакованного груза и его составных частей по результатам постоянной оценки технического состояния и условий эксплуатации. Система обеспечивает оценку всей совокупности показателей состояния упакованного груза, с учетом которых принимаются решения о дополнительных испытаниях и проверках работоспособности узлов контейнера, продлению сроков их использования.

Состав газовых сред гермообъема контейнера зависит от используемых конструкционных материалов, условий эксплуатации и проведения регламентных работ (проветривание, замена поглотителей и т. д.), формируется в течение всего жизненного цикла и оказывает непосредственное влияние на надежность и безопасность потенциально опасных грузов.

Кроме непосредственного влияния на состояние упакованного груза формирующаяся газовая среда может служить индикатором его состояния и процессов, происходящих внутри гермообъема, поскольку:

- состав газовой среды формируется за счет выделения и сорбции летучих компонентов, входящих в конструкционные материалы (сорбированные и растворенные газы, технологические растворители);
- состав газов включает в себя газообразные компоненты газовой выделения и химического взаимодействия элементов упакованного потенциально опасного груза;

– при эксплуатационных температурах процессы взаимодействия газовых компонентов между собой не обнаружены, однако при этом происходит увеличение концентрации всех контролируемых компонентов;

– при повышении температуры от 20 до 40 °С скорость газовой выделенной и равновесная концентрация выделяемых компонентов увеличиваются в 3–4 раза, при повышении температуры до 50 °С скорость газовой выделенной увеличивается в 5–10 раз по сравнению со значениями при 40 °С;

– уровень концентрации выделяемых компонентов зависит от наличия газопоглотителей и проведения регламентных работ со вскрытием гермообъемов;

– примеси, выделяющиеся в газовую среду, не накапливаются, а адсорбируются на поверхностях деталей, т. е. имеют равновесную концентрацию для каждого значения температуры;

– изотопный состав водорода или аэрозолей связан с источником, из которого они выделяются.

Следовательно, контролируя состав и, что, может быть, важнее и информативнее, динамику изменения газовой среды гермообъема, можно получать сведения о текущем состоянии упакованного груза и условиях его эксплуатации, т. е. состав газовой среды гермообъема контейнера и динамика его изменения могут отражать уровень надежности и безопасности изделия, а именно:

– снижение концентрации кислорода связано с процессами окисления;

– увеличение концентрации примесных компонентов может быть связано с повышением температуры и/или с заполнением (насыщением) поглощающих элементов, а также с термическим разложением ряда конструкционных материалов;

– скорость изменения концентрации газовых компонентов связана с процессами, протекающими внутри упакованного потенциально опасного груза, а также зависит от целостности гермообъема или его защиты (барьеров) от внешних воздействий.

В состав системы мониторинга должны входить:

– комплекс измерительных датчиков для контроля температуры, давления, ионизирующих излучений, положения, ускорения, удара и др.;

– фильтр для связывания, накопления и измерения состава и количества аэрозолей;

– перекачивающее устройство газовой среды, газоанализатор;

– программное обеспечение.

Таким образом, система мониторинга позволит постоянно контролировать состояние упакованного потенциально опасного груза и газовой среды гермообъема ЗК без вскрытия, тем самым повысив его безопасность в процессе хранения, транспортирования и при аварийных воздействиях, превышающих защитные возможности упаковки.

### ***Система дистанционной идентификации и контроля состояния упаковок потенциально опасных грузов в защитных контейнерах (СДИК)***

Работы по разработке СДИК-ЗК ведутся совместно с ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова». СДИК предназначена для повышения безопасности обращения с упакованным в ЗК потенциально опасным грузом. Ее задача – дистанционно идентифицировать контейнер (учетный номер ЗК) и проконтролировать факт превышения пороговых значений ударной перегрузки и температуры, действовавших на ЗК в процессе его эксплуатации, а также установить факт вскрытия контейнера. Система должна функционировать как в стационарном варианте (на диспетчерских и кон-

трольно-пропускных пунктах), так и в мобильном варианте (последовательный опрос контролируемых объектов). Принцип работы СДИК основан на получении кодированного ответного сигнала от энергонезависимого транспондера. Вид ответного сигнала определяется номером объекта и состоянием чувствительных элементов (датчиков), подключенных к транспондеру и расположенных внутри контейнера.

Основные характеристики СДИК:

- последовательная идентификация (учетный номер) упаковок с потенциально опасными грузами – до 250 контейнеров;
- дистанционная идентификация (по радиоканалу) и идентификация контактным способом;
- контроль превышения порогового значения температуры внутри упаковки (55 °С);
- двухуровневый контроль превышения пороговых значений ускорения (300g и 500g) в трех плоскостях при длительности импульса до 2–4 мс;
- контроль несанкционированного вскрытия контейнера;
- дистанция контроля – до 10 м.

### ***Система разгерметизации, фильтрации и рециркуляции (активный способ снижения опасности газовых сред)***

Наряду с мониторингом газовой среды гермообъема защитного контейнера и дистанционной идентификацией и контролем состояния упаковок потенциально опасных грузов в нем предлагается использовать активный и пассивный способы снижения или полного исключения опасности формирующихся газовых сред. К активному способу можно отнести введение в конструкцию ЗК системы разгерметизации, фильтрации и рециркуляции.

Система разгерметизации, согласно предъявляемым требованиям, должна обеспечивать:

- герметичность внутренней полости ампулы контейнера в течение срока гарантии ЗК при нормальной эксплуатации;
- возможность рециркуляции (принудительной замены газовой среды) внутреннего объема контейнера;
- надежное срабатывание в случае возгорания упакованного груза и/или элементов от температурного фактора при достижении критических значений температуры упакованного груза и/или избыточного давления внутри ампулы (при безвзрывном горении груза) с обеспечением газооттока продуктов сгорания из ампулы при давлении, не превышающем критическое избыточное давление, и сохранением работоспособности при повреждении части системы.

Система разгерметизации и фильтрации (поглощения диспергированных радиоактивных материалов) предназначена для снижения загрязнения аэрозольными продуктами горения, которые могут образовываться в результате аварийного пожарного воздействия на контейнер, приводящего к возгоранию упакованного потенциально опасного груза.

Система разгерметизации и рециркуляции является конструктивным элементом, входящим в силовую схему контейнера и упаковки изделия, и содержит группу предохранительных клапанов, равномерно установленных по окружности в радиальном направлении в плоскости фланцев разъемов контейнера, и клапаны системы рециркуляции.

При достижении в контролируемой системе критического значения температуры (выше температуры срабатывания предохранительных клапанов) открываются каналы системы клапанов для

выхода газов, стравливаемых в атмосферу. При снижении давления внутри контролируемой полости ниже критического уровня затворы предохранительных клапанов закрываются, не позволяя внешним газам поступать в контролируемую полость. Особенность конструкции разрабатываемой системы разгерметизации заключается в том, что необходимая площадь отверстия для стравливания газов распределяется между большим количеством предохранительных клапанов. С учетом конструкции, геометрических размеров ЗК и выбранной конструктивной схемы системы разгерметизации в ходе предварительных расчетов были определены конструктивные параметры разрабатываемого предохранительного клапана, которые позволяют обеспечить необходимую суммарную площадь стравливания  $50 \text{ см}^2$  при количестве клапанов 72 шт. (70 шт. – предохранительные, 2 шт. – рециркуляционные).

Разработанная конструкция системы разгерметизации, фильтрации и рециркуляции проста и позволяет устанавливать ее в имеющемся конструктивном зазоре между фланцами без значительных материальных затрат; она является унифицированной и технологичной, не требует существенных доработок упаковки, являясь частью силовой схемы. Система может быть изготовлена и поставлена отдельно. Размещение системы разгерметизации, фильтрации и рециркуляции по контуру фланца ЗК исключает вероятность повреждения или перекрытия сразу всех клапанов при падении контейнера.

Была изготовлена и установлена в ЗК опытная система разгерметизации и рециркуляции, которая опробуется в реальных процессах, связанных с тепломеханическими факторами аварийных ситуаций (пожаров). Получены патенты Российской Федерации на конструкцию защитного контейнера с установленной системой клапанов и фильтрующих элементов [1–3].

С учетом введенной в конструкцию системы разгерметизации двух рециркуляционных клапанов предложена схема установки для вентиляции и рециркуляции газовой среды внутреннего объема контейнера (рис. 3).

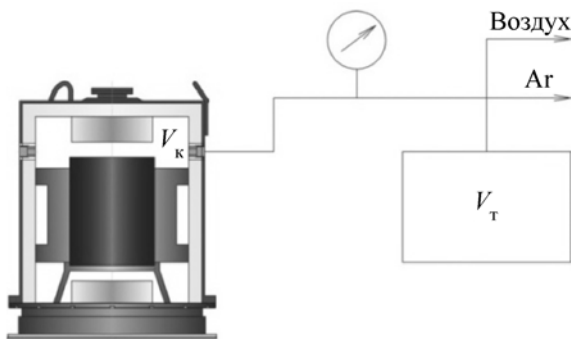


Рис. 3. Схема установки для рециркуляции гермообъема контейнера дозированной подачей воздуха

Вскрытие контейнера производится по следующей технологии [5].

1. Мониторинг состояния контейнера по составу газовой среды на основании газовой пробы. Основные компоненты для диагностирования состояния материала в контейнере – азот, кислород и водород. При наличии кислорода ситуация наиболее благоприятная: при обращении с контейнером не требуется специальных мер.

2. «Промывка» свободного объема контейнера инертным газом (аргоном). Контейнер вакуумируется до остаточного давления не более 30 мм рт. ст., затем заполняется аргоном до атмосферного давления. Операция проводится не менее двух раз, при этом из контейнера удаляются потенциально пожароопасные газы (прежде всего, водород), способные к реакциям поддержания горения.
3. Дозированная подача воздуха в свободный объем контейнера. Контейнер с потенциально опасным грузом ( $V_k$ ) соединяется через вентиль с технологической емкостью ( $V_t$ ). Свободные объемы контейнера и технологической емкости вакуумируются до фиксированного остаточного давления (не более 30 мм рт. ст.), затем технологическая емкость заполняется арго-

ном до атмосферного давления. После открытия вентиля аргон распускается на технологическую емкость и откакумированный контейнер, фиксируется равновесное давление аргона в системе  $P_{Ar}$ .

Далее операция повторяется, но вместо аргона технологическая емкость заполняется до атмосферного давления воздухом, измеряется равновесное давление воздуха в системе  $P_{O_2}$ . Выполнение условия  $P_{Ar} = P_{O_2}$  означает, что в контейнере с подачей воздуха реакции окисления с заметной скоростью не протекают и контейнер может быть вскрыт на открытом воздухе без опасности возгорания.

Процедура дозированной подачи воздуха в контейнер повторяется до тех пор, пока не зафиксировано равенство  $P_{Ar} = P_{O_2}$ .

### ***Система рекомбинации и поглощения опасных компонентов газовой среды (пассивный способ снижения опасности газовых сред)***

Пассивным способом снижения опасности газовых сред является введение в конструкцию ЗК системы рекомбинации и поглощения опасных компонентов газовой среды. При разработке конструкции данной системы в привязке к реальной конструкции защитного контейнера должны соблюдаться следующие требования:

- минимальный объем системы;
- эффективное удаление потенциально опасных газов из газовой среды во всем объеме упаковки с учетом плотности газов в зависимости от места размещения системы: для более легких газов (водород и дейтерий) – в верхней части свободного объема ЗК, для более тяжелых (оксид углерода (II), углеводороды) – в нижней части ЗК;
- возможность демонтажа для регенерации;
- материалы, используемые в системе, по возможности должны обеспечить интегрирование своих защитных, демпфирующих и теплоизоляционных характеристик в защитные характеристики конструкции контейнера.

Разработанный способ снижения пожаровзрывоопасности газовых сред заключается в следующем:

- размещение в объеме защитного контейнера химического реагента;
- химическое взаимодействие реагента с водородом, содержащимся в гермообъеме ЗК, в результате чего реагент «переходит» в водяные пары;
- флегматизация газовой среды защитного контейнера оксидом углерода (IV), который образуется за счет химического взаимодействия углеродсодержащих газообразных продуктов разложения (оксида углерода (II) и углеводородов) органических полимерных материалов системы теплозащиты с реагентами.

В качестве химических реагентов для снижения пожаровзрывоопасности газовых сред защитных контейнеров с потенциально опасными грузами на основании анализа литературных данных и материалов патентно-технического поиска к применению были предложены оксид меди (II) и оксид молибдена (VI). Алгоритм разработанного способа показан на рис. 4.



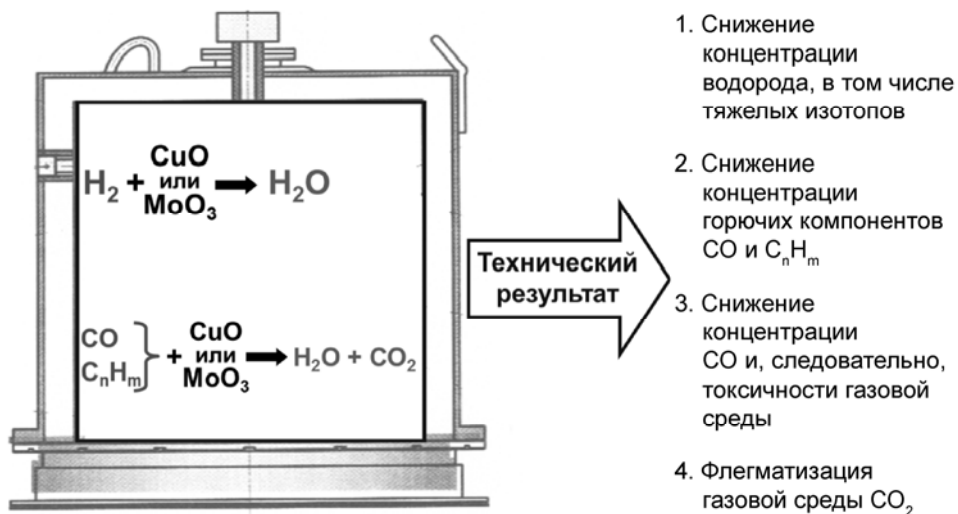


Рис. 4. Способ снижения пожаровзрывоопасности газовых сред ЗК (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> – углеводороды, преимущественно метан)

Представленный способ [4] внесен в Государственный реестр изобретений Российской Федерации. С применением цеолитов он дает возможность снизить давление газовой среды в контейнере в процессе его остывания после эвакуации из очага пожара за счет сорбции паров воды.

## Заклучение

Применение ЗК с установленными системами безопасности позволит:

- значительно снизить или полностью исключить опасность газовых сред, образующихся в гермообъеме контейнеров;
- осуществлять идентификацию объекта (учетный номер ЗК);
- контролировать факты доступа и воздействия ударов и повышенной температуры;
- повысить безопасность обращения с контейнером и упакованным опасным грузом, особенно при процедурах, связанных со вскрытием упаковки.

Установка технических средств защиты внутри имеющихся серийных контейнеров позволяет решить задачу обеспечения безопасности при транспортировании и хранении потенциально опасного груза и снизить возможный ущерб, наносимый авариями; при этом конструкция контейнера не требует изменений, массогабаритные параметры увеличиваются незначительно. Введение систем дистанционной идентификации и контроля состояния упаковок потенциально опасных грузов в ЗК (СДИК-ЗК), аппаратного мониторинга состояния упакованного груза и газовой среды в гермообъеме контейнера, разгерметизации, фильтрации, рециркуляции, поглощения и рекомбинации газовых сред в конструкцию ЗК позволяет повысить уровень его защитных качеств без существенных доработок упаковки.

## Список литературы

1. Пат. 127993 РФ, МПК G21F5/00. Защитный контейнер для хранения и транспортирования взрывчатых веществ и изделий, содержащих ВВ / В. А. Афанасьев, А. А. Бадыев, М. П. Кужель, Ю. Н. Румянцева, Р. М. Тагиров // Бюл. изобретений. 2013. № 13.
2. Пат. 91363 РФ, МПК G21F5/00. Защитный контейнер для перевозки взрывчатых веществ и изделий, содержащих взрывчатые вещества / А. А. Бадыев, В. А. Афанасьев, Р. М. Тагиров, М. П. Кужель, Л. И. Жерноклетова // Бюл. изобретений. 2010. № 4.
3. Пат. 2580518 РФ, МПК G21F5/00. Защитный контейнер для хранения и транспортирования радиационно-, пожаро-, взрывоопасных грузов / В. А. Афанасьев, А. А. Бадыев, А. Ю. Возлеева, М. П. Кужель, Ю. Н. Румянцева, Р. М. Тагиров // Бюл. изобретений. 2016. № 10.
4. Пат. 2415484 РФ, МПК G21C 9/06. Способ снижения пожаровзрывоопасности газовой среды контейнеров с экологически опасными химически активными материалами / В. И. Сухаренко, Т. А. Морозова, В. А. Афанасьев, Т. В. Серова, Р. М. Тагиров, Л. Ф. Беловодский, М. П. Кужель, А. А. Бадыев // Изобретения. Полезные модели. 2011. № 9.
5. Куранов В. В. Обеспечение пожаро- и взрывобезопасных условий при работе с ураном после длительного хранения в герметичной таре // Безопасность в ядерном оружейном комплексе. 2009. № 5. С. 87–89.

## Technical Measures for Protection During Transportation and Storage of Potentially Dangerous Cargoes (Protective Container)

A. A. Badygeyev, M. P. Kuzhel', T. A. Morozova, E. P. Ponomareva,  
Yu. N. Rumyantseva, R. M. Tagirov

*The description of technical measures developed for protection during transportation and storage of potentially dangerous cargoes in the protective container is presented. The technical means allow to exclude or lower to comprehensible levels negative consequences of emergencies, such as fires, falling, actions of bullets of a small arms, influence of a shock wave and splinters from explosives. Protective containers, except for means of protection against the specified influences, should be equipped with system of depressurization, filtrations and recirculation of internal volume of the container, system of recombination and absorption of the dangerous gaseous components containing in hermetic volume of the container, system of hardware monitoring of a condition of the packed cargo and the gas environment, system of remote identification and the control of a condition of packing. Application of the protective container with the established systems will decrease the possible damage caused by accidents and will improve the safety of container and potentially dangerous cargo handling especially during unpacking procedures.*