

## Перспектива развития транспортных средств для жидких кислорода, азота, аргона

© О.Я. Черемных

АО «Уралкриомаш», г. Нижний Тагил, 622051, Россия

*Приведены сведения о разработках на основе анализа созданных ранее конструкций транспортных средств для перевозки продуктов разделения воздуха (кислорода, азота, аргона), позволяющих реализовать современные криогенные технологии в ракетно-космической, морской и других отраслях промышленности. Выполнен поиск оптимальных решений при выборе конструкций и теплоизоляции указанных транспортных средств. Обоснован выбор экранно-вакуумной теплоизоляции и глубины вакуума в межстенном пространстве емкости. На основе анализа выявлены основные примеси жидкого кислорода и оценено изменение их концентрации в процессе транспортировки, в связи с чем предложено осуществлять транспортировку жидкого кислорода в железнодорожных цистернах с открытым газосбросом паров кислорода из емкости, а транспортировку жидкого аргона для сохранения качества продукта — с закрытым газосбросом паров аргона из емкости (под избыточным давлением паров в емкости). Обоснован выбор материала сосуда и оболочки емкости цистерны для безопасной эксплуатации на железнодорожном транспорте. Впервые приведены описание и технические характеристики перспективного транспортного изделия — контейнера-цистерны для мультимодальных перевозок жидкого кислорода и жидкого азота.*

**Ключевые слова:** жидкий кислород, жидкий аргон, жидкий азот, железнодорожная цистерна, контейнер-цистерна, теплоизоляция, глубина вакуума, испаряемость, железнодорожная платформа

**Введение.** В СССР шестьдесят лет назад по инициативе Главного конструктора С.П. Королева были начаты широкомасштабные работы по созданию оборудования и технологий, позволяющих использовать керосинокислородное ракетное топливо для ракеты-носителя Р-7 [1]. Необходимо было создать транспортные железнодорожные средства для доставки топлива и заправки ракеты-носителя на космодроме жидким кислородом и жидким азотом [2], т. е. разработать конструкционные и теплоизоляционные материалы, работоспособные при низких температурах, и найти конструкторские решения, соответствующие [3, 4].

До настоящего времени остается актуальной задача минимизации суточных потерь жидких кислорода, азота, аргона с помощью эффективной теплоизоляции емкости транспортного средства и создания глубокого вакуума в межстенном теплоизоляционном пространстве [5, 6]. В конструкторских решениях силовых элементов (опоры, узлы, подвески) схемы «сосуд—оболочка—рампа платформы» должны

учитываться требования по восприятию транспортных ударных нагрузок в условиях железной дороги в совокупности с низкой температурой жидкого кислорода и жидкого азота.

Важным вопросом является универсальность создаваемого транспортного средства — возможность перевозки различных криогенных жидкостей в цистерне одной конструкции (модели) [7] при сохранении их качества (минимизация загрязнения примесями — твердыми или растворенными, что является проблемной задачей).

При транспортировке жидкого кислорода (жидкие азот и аргон нейтральны по отношению к воспламенению) первостепенной и определяющей в выборе конструкции универсальной цистерны [8] является задача разработки мероприятий на случай возникновения аварийной ситуации, такой как потеря вакуума в теплоизоляционной полости емкости.

Проблема создания транспортного средства, обеспечивающего перевозку продуктов разделения воздуха по железной дороге, автомобильным и морским транспортом (мультимодальные перевозки), может быть решена на основе создания контейнера-цистерны.

Цель настоящего исследования — анализ конструктивных особенностей и технологии транспортировки ранее созданных транспортных изделий, используемых для доставки потребителям жидких кислорода, азота, аргона, и разработка на этой основе мероприятий по улучшению теплоизоляции емкостей, безопасной эксплуатации, сохранению качества продуктов разделения воздуха при перевозках, что обеспечит совершенствование технических характеристик криогенных цистерн.

**Железнодорожная цистерна модели 8Г52 для транспортировки жидкого кислорода.** Ее создание было инициировано в 1954 г. техническим заданием главного конструктора наземного стартового оборудования академика В.П. Бармина.

Основа цистерны 8Г52 (рис. 1) — алюминиевая цилиндрическая емкость, устанавливаемая на железнодорожную платформу и закрытая герметичным стальным кожухом по периметру каркаса. Пространство между кожухом и емкостью через специальные люки заполнялось теплоизоляционным материалом — мипорой, широко применяемой в пассажирском вагоностроении и при изготовлении изотермических вагонов для перевозки пищевых продуктов.

Емкость опиралась на железнодорожную платформу: концами — на подвижные опоры, обеспечивающие скольжение емкости при термических усадках, а посередине — на жесткую неподвижную опору. Для уменьшения теплопритоков к емкости между ней и опорами размещались текстолитовые проставки. Опоры были выполнены из хладостойкой высококачественной стали во избежание появления

трещин в них при действии низких температур. По торцам цистерны имелись две обшитые деревом будки: в одной размещались органы управления заправкой и сливом жидкого кислорода, приборы для контроля давления и уровня жидкости в емкости, в другой находился вооруженный охранник. Корпуса арматуры (запорные вентили и предохранительные клапаны) изготовлялись из латуны.

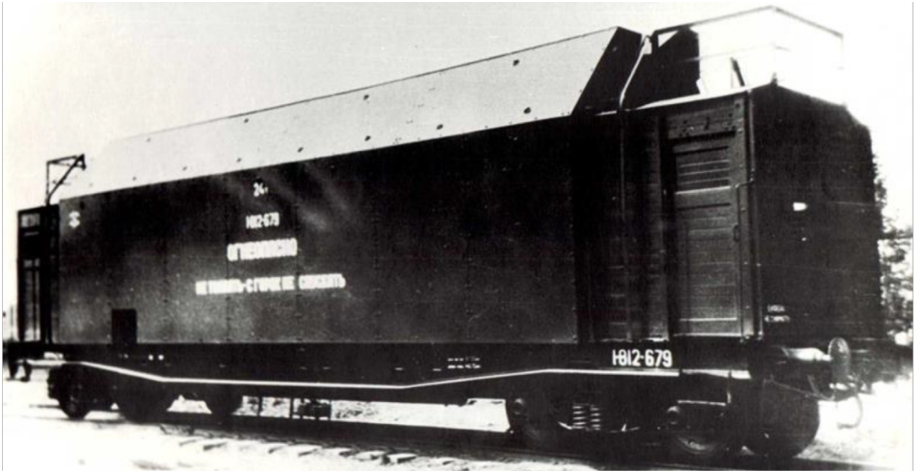


**Рис. 1.** Железнодорожная цистерна модели 8Г52 для транспортировки жидкого кислорода

Вследствие низкой прочности алюминиевого сплава АМцС и несовершенной теплоизоляции рабочее давление в цистерне (при сливе жидкости) составляло 0,25 МПа. Перевозка жидкого кислорода осуществлялась без избыточного давления в сосуде, с открытым газобросом, в противном случае из-за суммирования напряжений от внутреннего давления с динамическими нагрузками при транспортировке пришлось бы значительно увеличить толщину сосуда, что усложнило бы процессы сварки и снизило грузоподъемность цистерны. Для создания избыточного давления в емкости при сливе кислорода цистерна была оборудована испарителем из алюминиевых труб. Вместимость цистерны составляла 32 т, потери продукта — 5 % в сутки.

Для транспортировки жидкого азота (рис. 2) была создана цистерна модели 8Г54, которая конструктивно отличалась от кислородной цистерны модели 8Г52 лишь меньшей массой перевозимого продукта (плотность жидкого азота меньше плотности жидкого кислорода) и незначительно — в суточных потерях при транспортировке.

**Цистерна модели 8Г512 на основе порошково-вакуумной теплоизоляции.** Повышенная испаряемость жидкого кислорода при транспортировке в железнодорожной цистерне 8Г52 приводила к существенным потерям криогенной жидкости. Необходимо было найти



**Рис. 2.** Железнодорожная цистерна модели 8Г54 для транспортировки жидкого азота

новые решения. Прежде всего, при выборе теплоизоляционных материалов необходимо было определить степень их уплотнения, найти материалы с наименьшим газоотделением в вакууме для опорных элементов, требовалось установить глубину вакуумирования для различных объемов теплоизоляционных полостей, разработать оптимальную конструкцию адсорберов (устройств для углубления и поддержания необходимой степени вакуума в изоляции).

Конструктивно цистерна для жидкого кислорода и жидкого азота модели 8Г512 (рис. 3) выполнена в виде двух сосудов, расположенных один в другом, при расстоянии между их оболочками 200...250 мм.



**Рис. 3.** Железнодорожная цистерна модели 8Г512 для транспортировки жидкого кислорода и азота

Внутренний сосуд служил резервуаром для жидкого кислорода и жидкого азота, наружный — кожухом теплоизоляционной полости. Крепление внутреннего сосуда в оболочке осуществлялось с помощью крайних текстолитовых подвижных опор, обеспечивающих возможность термической усадки внутреннего сосуда при его охлаждении или отопреве, и средней жесткой опоры. Материал внутреннего сосуда — алюминиевый сплав АМцС, материал оболочки — легированная сталь 15. В дальнейшем материал оболочки был заменен на алюминиевый сплав АМг, так как сварные швы из него имели намного меньше дефектов герметичности по сравнению со швами из стали 15.

Перед закаткой в оболочку внутренний сосуд емкости проверяли на вакуумную герметичность. Для этого сосуд надували внутренним рабочим давлением гелия или гелиево-воздушной смеси, а снаружи каждый участок всех сварных швов прощупывали датчиком, подключенным к гелиевому течеискателю, который регистрировал утечку гелия из сосуда в проверяемом месте (метод щупа). Выявленные негерметичности устраняли выборкой дефектных участков и подваркой. Методом щупа выявлялось немного дефектных мест, так как до контроля вакуумной герметичности все швы сосуда проверяли рентгенографией.

При контроле вакуумной герметичности наружной оболочки изоляционное пространство вакуумировали до давления, обеспечивающего нормальную работу течеискателя (10...40 мм рт. ст.). После этого оператор подключал гелиевый течеискатель к вакуумному пространству и обдувал каждый участок швов струйкой гелия из баллона, а другой оператор по прибору регистрировал дефектные участки. Дефектные участки подваривали.

Технические характеристики железнодорожной цистерны 8Г512 приведены ниже:

Геометрический объем сосуда, м <sup>3</sup> .....	30,0
Рабочее давление, МПа .....	0,25
Перевозимая масса жидкости, т:	
кислород.....	32,4
азот .....	23,4
Суточные потери продукта	
при транспортировке, % .....	0,5
Способ слива продукта .....	Наддув испарителем

Суточные потери жидкого кислорода от испарения на цистерне 8Г512 составила не более 0,5 %, что в 10–15 раз ниже, чем на цистерне 8Г52.

**Цистерна модели 8Г513 для транспортировки жидких кислорода, азота, аргона.** Поиск дальнейших путей снижения потерь жидких кислорода, азота, аргона при транспортировке приводил к необ-

ходимости применения новых композиций теплоизоляционного порошка и углублению вакуума в теплоизоляционной полости емкости. В качестве теплоизоляционного порошка был выбран негидрофобный аэрогель (гель кремниевой кислоты). Аэрогель засыпали методом засасывания вакуумными насосами через горловину люка-лаза. Для равномерного заполнения порошком всего изоляционного пространства внутри него установлена сеть перфорированных трубочек, обмотанных латунной сеткой и стеклотканью, подключенная к коллекторам вакуумирования и отсечным вентилям (рис. 4). Затем изоляционное пространство вакуумировали до давления 1...5 мм рт. ст.



Рис. 4. Железнодорожная цистерна модели 8Г513 для транспортировки жидкого кислорода, азота, аргона

Использование различных вариантов порошково-вакуумной изоляции транспортной цистерны (чистый негидрофобный аэрогель, его смеси с вермикулитом и перлитом в соотношении 50 на 50 % по объему, белая сажа и др.) к существенному снижению испаряемости не приводило. С применением чистого негидрофобного аэрогеля была достигнута суточная испаряемость по кислороду 0,2 %, что зафиксировано в технических условиях на цистерну 8Г513 (рис. 5). Транспортировка продуктов разделения воздуха (кислорода, азота, аргона) в цистерне осуществлялась с открытым газосборосом. В связи с тем, что в цистерне 8Г513 наблюдались случаи ухудшения качества жидкого аргона вследствие загрязнения примесями, находящимися в воздухе, было принято решение о создании новой модели цистерны — 8Г513М.

В отличие от базовой модели новая модель была оборудована обратным дыхательным клапаном, настроенным на давление 0,11...0,16 МПа,

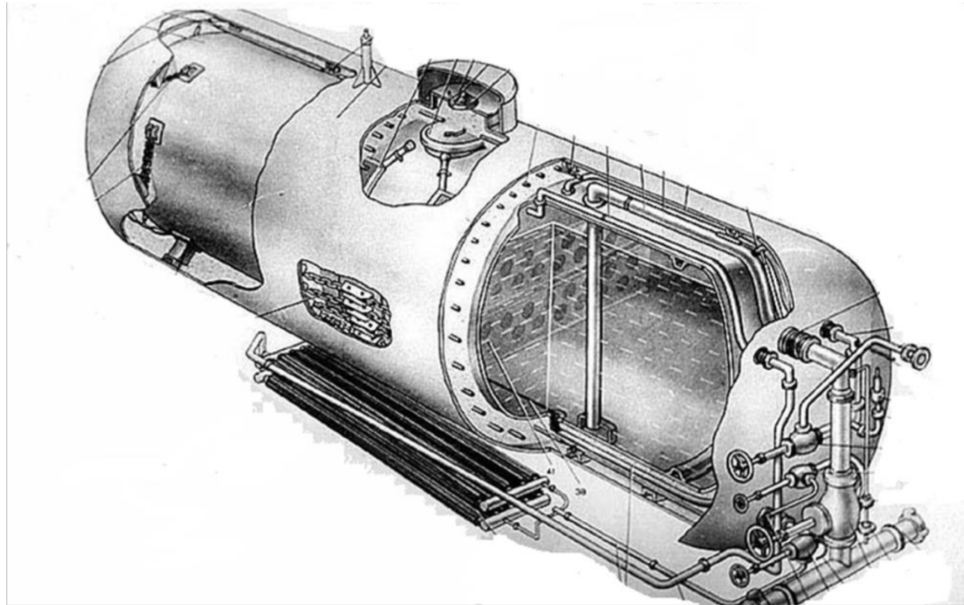


Рис. 5. Общий вид цистерны 8Г513 в разрезе

применение дыхательного клапана исключало возможность подсоса атмосферного воздуха в сосуд и позволило перевозить в цистерне 8Г513М жидкий аргон без ухудшения его качества. Для цистерн 8Г513 и 8Г513М использовались серийно изготавливаемые предприятием «Уралвагонзавод» железнодорожные тележки модели 18-100 с допускаемой нагрузкой на ось 23,25 т. При максимальной массе брутто 71,3 т цистерны 8Г513 нагрузка на ось составляла 17,8 т. Таким образом, экипажная часть железнодорожной цистерны позволяла обеспечить большую грузоподъемность и, следовательно, создавала возможность для перевозки больших масс продуктов разделения воздуха.

**Цистерна модели 15-558 для транспортировки продуктов разделения воздуха.** Железнодорожная цистерна, получившая индекс 15-558, изготавливалась для доставки больших объемов жидких кислорода, азота, аргона на стартовый комплекс многоразовой космической системы «Энергия — Буран» и стенды для отработки жидкостных ракетных двигателей (рис. 6).

Внутренний сосуд и вакуумная теплоизоляционная оболочка цистерны 15-558 были изготовлены из алюминиевого сплава АМг5, что позволило, применяя и трубы из этого же сплава, отказаться от использования сильфонных компенсаторов температурной усадки внутреннего сосуда. Из алюминиевого сплава АМг5 была выполнена и рама цистерны опытного образца. Однако в дальнейшем, учитывая возрастающую стоимость и дефицит алюминиевых сплавов, указан-

ный сплав оставили только для внутреннего сосуда, а вакуумную оболочку и раму стали изготавливать из низколегированной стали 09Г2С (цистерна модели 15-558С).



**Рис. 6.** Железнодорожная цистерна модели 15-558С-01 для транспортировки жидкого кислорода, азота, аргона

Отличительной особенностью цистерны 15-158С (сосуд из алюминиевого сплава АМг5) и ее модификации 15-558С-01 (сосуд из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т) от железнодорожных цистерн 8Г513 и 8Г513М, помимо увеличенной массы перевозимого криогенного продукта, является рабочее давление 0,5 МПа, что обеспечивает бездренажную транспортировку продукта в период до 30 сут. Главное отличие модели 15-558 от цистерны 8Г513 — конструкция арматуры и системы коммуникаций. Арматура с сальниковым уплотнением штока исключает его обмерзание и утечку криогенного продукта через сальник. В системе коммуникаций предусмотрены два газосброса: традиционный — в атмосферу непосредственно из сосуда (при заполнении из цистерны) и другой — через специальный дыхательный клапан (при хранении и транспортировке).

Рабочее давление в сосуде 0,6 МПа, давление при транспортировке — не более 0,5 МПа, чему соответствует давление дыхательного клапана 0,11...0,16 МПа.

В 1990-х годах ввиду закрытия завода по производству аэрогеля пришлось искать иные недорогие теплоизоляционные материалы, применимые прежде всего к жидкому кислороду. Такой материал был найден — базальтовое волокно, из которого в дальнейшем изготавливались базальтовые маты, теплоизоляция емкости при этом получила название волокнисто-вакуумной.

При заданном типе теплоизоляции, несмотря на немного большие потери продукта от испарения по сравнению с потерями на цистерне



модели 15-158С-01 с порошково-вакуумной теплоизоляцией, вакуумирование соответствующей полости емкости до сдаточного давления 1...5 мм рт.ст. достигалось вдвое быстрее, при этом не требовалось изготовления системы откачных коллекторов внутри емкости. Благодаря увеличению объема сосуда емкости от 44 до 49 м<sup>3</sup> увеличилась и масса перевозимого продукта, в том числе по кислороду с 47 до 50,7 т. Масса цистерны снизилась на 3,3 т. Эта цистерна, получившая индекс 15-558С-03 (рис. 7), изготовлена в двух экземплярах, ее производство было прекращено ввиду поступления нового технического задания на создание модернизированной универсальной цистерны модели 15-558С-04.



**Рис. 7.** Железнодорожная цистерна модели 15-558С-03 для транспортировки жидкого кислорода, азота, аргона

**Цистерна модели 15-558С-04 для транспортировки продуктов разделения воздуха.** Техническим заданием на цистерну модели 15-558С-04 предусматривалось (рис. 8):

увеличение вместимости цистерны по сравнению с цистерной модели 15-558С-01;

снижение потерь криогенного продукта при транспортировке в 1,3 раза;

сохранение качества криогенного продукта при транспортировке к потребителю.

Снижение потерь продуктов разделения воздуха при транспортировке было достигнуто применением экранно-вакуумной теплоизоляции и созданием в вакуумной полости цистерны более глубокого вакуума —  $(1...5) \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.



**Рис. 8.** Железнодорожная цистерна модели 15-558С-04 для транспортировки жидкого кислорода, азота, аргона

В результате этих мероприятий суточные потери криогенной жидкости при транспортировке составили, %: по азоту — 0,27; по кислороду — 0,17; по аргону — 0,19.

Технические характеристики цистерн для транспортировки жидких кислорода, азота, аргона представлены в таблице.

Параметр	Модель железнодорожной цистерны			
	8Г513	15-558С-01	15-558С-03	15-558С-04
Геометрический объем, м <sup>3</sup>	33,75	44,00	49,10	49,10
Рабочее давление в сосуде, МПа	0,25	0,50	0,50	0,50
Перевозимая масса продукта, т:				
кислород	36,0	47,0	50,7	50,7
азот	25,5	34,0	35,5	35,5
аргон	36,0	55,0	57,6	57,6
Тип теплоизоляции	Порошково-вакуумная		Волокнисто-вакуумная	Экранно-вакуумная
Потери продукта от испарения, % в сутки:				
аргон	0,35	0,37	0,38	0,19
азот	0,35	0,50	0,50	0,27
кислород	0,30	0,35	0,34	0,17
Способ выдачи продукта из емкости	Верхний, с наддувом от испарителя			

Параметр	Модель железнодорожной цистерны			
	8Г513	15-558С-01	15-558С-03	15-558С-04
Габарит цистерны	02-ВМ	02-ВМ	02-ВМ	1-ВМ
Масса цистерны, т	35,30	37,80	34,50	34,77
Материал сосуда	Сплав АМцС	Сталь 12Х18Н10Т		
Материал оболочки	Сталь 09Г2С			
Габаритные размеры емкости, мм:				
длина по осям авто-сцепок	12 570	14 730	12 020	12 020
ширина	3 000	3 040	3 246	3 246
высота от уровня головок рельсов	4 265	4 265	4 550	4 550
Давление в сосуде при транспортировке жидких продуктов, МПа	Атмосферное	0,03–0,45	0,03–0,45	0,03–0,45
Темп слива, л/мин	700–1000	500–800	500–800	500–800

**Перспективы создания железнодорожной цистерны 15-558С-05 нового поколения.** В настоящее время научно-исследовательские институты и ОКБ вагоностроительной корпорации внедряют в грузовой подвижной состав вагонные тележки с нагрузкой на ось 25...27 т. Это позволяет на 10...12 % увеличить грузоподъемность криогенного продукта, перевозимого в универсальной цистерне модели 15-558С-05. Перенос арматурного шкафа из торцевой части в боковую цилиндрическую часть цистерны позволит увеличить объем сосуда цистерны на 3...5 м<sup>3</sup> и, следовательно, массу перевозимого жидкого кислорода до 5,7 т.

Изготовление оболочки цистерны из коррозионно-стойкой стали исключит возникновение аварийных ситуаций при разгерметизации сосуда и теплоизоляционной полости емкости цистерны. Внедрение сильфонной запорной арматуры обеспечит герметичность в коммуникациях цистерны. Применением новых теплоизоляционных порошков и их композиций, а также конструктивным решением при их вакуумировании удастся снизить потери криогенного продукта при его транспортировке к потребителю.

**Создание контейнера-цистерны для транспортировки жидкого кислорода и жидкого азота.** Перспективным средством транспортировки продуктов разделения воздуха являются контейнеры-цистерны. Организация мультимодальных перевозок обусловила разработку оборудования с соблюдением международных правил IMDG Code [9], RID [10], ADR [11] и российских нормативных документов, в частности разрешения на применение контейнера-цистерны на опасном производственном объекте.

Покажем на примере, как приходится руководствоваться совокупностью этих правил. Допускаемая масса продукта, перевозимого в контейнерах-цистернах, ограничивается, согласно IMDG Code, значением 32,480 т.

Современные европейские транспортные средства — контейнеровозы, включая тягачи контейнера-платформы, имеют массу 11 т. На массу брутто контейнера-цистерны в Европе приходится 31,5 т, в России 27 т. Таким образом, суммарная масса транспортного средства с учетом массы брутто контейнера-цистерны в Европе составляет 42,4 т, а в России 38 т. Если принять за основу 20-футовый контейнер, в габариты которого 1СС можно вписать емкость на  $20 \text{ м}^3$ , то с учетом ее заполнения масса перевозимого жидкого азота составит 15 т, жидкого кислорода — 20,5 т, жидкого аргона — 25 т. Конструктивные проработки такого контейнера-цистерны объемом  $18,8 \text{ м}^3$  при рабочем давлении 0,5 МПа (рис. 9) показывают, что собственная масса контейнера-цистерны должна составить 8...10 т. Это дает возможность в указанном габарите 20-футового контейнера-цистерны перевозить жидкий кислород и жидкий азот.

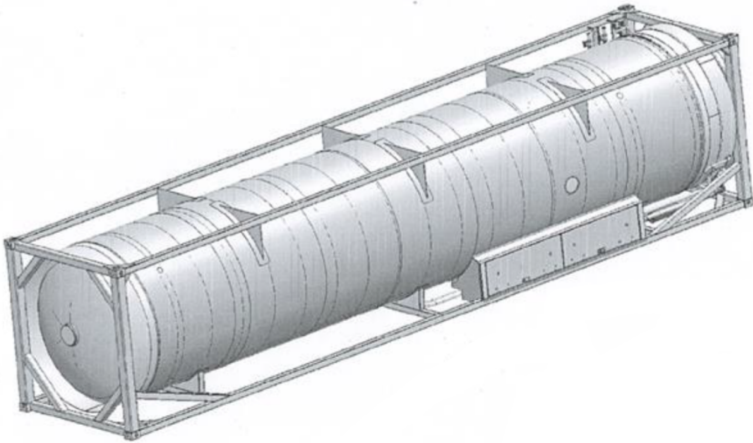


Рис. 9. Контейнер-цистерна модели КЦХ для транспортировки жидкого кислорода и жидкого азота

Технические характеристики контейнера-цистерны модели КЦХ приведены ниже:

Рабочее давление, МПа .....	0,5
Объем, $\text{м}^3$ .....	18,8
Масса тары, кг .....	8000
Масса продукта, кг:	
кислород.....	18 900
азот .....	13 100
Габариты, мм (В×Д×Ш) .....	2591×2438×6058

Материал сосуда .....	Коррозионно-стойкая сталь
Диаметр оболочки, мм.....	2400
Диаметр сосуда, мм .....	2100
Толщина обечайки сосуда, мм.....	6
Толщина днища сосуда, мм .....	10
Среднесуточная испаряемость, %:	
кислород.....	0,36
азот .....	0,57
Тип изоляции .....	Экранно-вакуумная

Транспортировка жидкого кислорода и жидкого азота в контейнерах-цистернах по сравнению с перевозкой железнодорожными цистернами дает следующие преимущества:

возможность перевозки криогенных продуктов железнодорожным, автомобильным и морским транспортом;

прямая доставка сжиженного газа производителю, что исключает потери продукта при переливах;

отсутствие необходимости в использовании дорогостоящих железнодорожных терминалов слива-налива;

исключение снижения качества криогенного продукта в результате его переливов.

**Заключение.** Показана возможность использования конструкционных материалов: алюминиевых сплавов АМцС и АМг5, стали 12Х18Н10Т для изготовления внутреннего сосуда емкостей, работающих при температуре жидких кислорода, азота, аргона, и найдены конструкторские решения, обеспечивающие надежную работу транспортных изделий при низких температурах и высоких динамических нагрузках.

В результате проведенных исследований различных типов теплоизоляции емкостей транспортных изделий общепромышленного назначения (мипора, порошково-вакуумная, многослойно-вакуумная (на основе базальтовых матов), экранно-вакуумная) удалось добиться снижения испаряемости жидкого кислорода и жидкого азота на универсальной цистерне 15-558С-04 в 1,2–1,4 раза.

На основе исследования загрязнения жидкого кислорода и жидкого аргона примесями в процессе транспортировки установлены режимы хранения криогенных продуктов в емкости под избыточным давлением 0,11...0,16 МПа и газосброса в атмосферу при превышении верхнего предела давления до достижения минимального значения.

Анализ находящегося в эксплуатации парка универсальных цистерн моделей 8Г513, 15-558 позволил наметить пути совершенствования технических характеристик универсальной цистерны модели 15-558С-05:

увеличение грузоподъемности благодаря применению грузовых тележек с нагрузкой на ось 25...27 т;

увеличение объема сосуда емкости цистерны на 3...5 м<sup>3</sup> в результате арматурного шкафа из торцевой части емкости в цилиндрическую; предотвращение возможных утечек криогенного продукта в случае разгерметизации сосуда емкости посредством применения алюминиевых и коррозионно-стойких сталей при изготовлении оболочки емкостей.

Впервые рассмотрена альтернатива железнодорожным криогенным цистернам — контейнеры-цистерны для транспортировки продуктов разделения воздуха. Описаны преимущества этих транспортных средств.

Накопленный опыт позволяет создавать новое транспортное оборудование при реализации отечественных программ, в частности по внедрению сжиженного природного газа в народное хозяйство страны.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева. 1946–1996 гг.* Москва, Менонсовполиграф, 1996, 670 с.
- [2] Архаров А.М., Кунис И.Д. *Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 252 с.
- [3] *ОАО «Уралкриомаш» — «Малая земля Вагонки».* Екатеринбург, СВ-96, 2004, 208 с.
- [4] Павленко С.Т., Черемных О.Я. «Уралвагонзавод» приблизил начало космической эры. *Технические газы*, 2007, № 3, с. 19–22.
- [5] Архаров А.М., Смородин А.И., ред. *Криогенные системы.* В 2 т. Москва, Машиностроение, 1999.
- [6] Каганер М.Т. *Тепловая изоляция в технике низких температур.* Москва, Машиностроение, 1966, 275 с.
- [7] Черемных О.Я. Создание оборудования нового поколения для хранения и транспортирования продуктов разделения воздуха. *Технические газы*, 2010, № 6, с. 22–29.
- [8] Черемных О.Я. Создание и опыт эксплуатации железнодорожных криогенных цистерн для продуктов разделения воздуха. *X Междунар. науч.-практ. конф. «Криогенные технологии и оборудование. Перспективы развития».* Москва, ЦВК «Экспоцентр», 2013, с. 45.
- [9] *Международный морской кодекс по опасным грузам* (Кодекс ММОГ/IMDG Code).
- [10] *Международные правила перевозки опасных грузов по железным дорогам* (МПОГ/RID).
- [11] *Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов* (ДОПОГ/ADR).

Статья поступила в редакцию 21.06.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Черемных О.Я. Перспектива развития транспортных средств для жидких кислорода, азота, аргона. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 10.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-10-1684>

**Черемных Олег Яковлевич** — канд. техн. наук, Генеральный конструктор АО «Уралкриомаш». Область деятельности и научных интересов — криогенная техника. e-mail: [cryont@cryont.ru](mailto:cryont@cryont.ru)

## Prospect for the development of vehicles for liquid oxygen, nitrogen, argon

© O.Ya. Cheremnykh

JSC “Uralkriomash”, Nizhniy Tagil, 622051, Russia

*The article discusses developments based on the analysis of previously created vehicle structures for the transportation of air separation products (oxygen, nitrogen, argon), allowing the implementation of current cryogenic technologies in the rocket, space, marine and other industries. The search for optimal solutions when selecting structures and thermal insulation of these vehicles was carried out. The choice of screen-vacuum heat insulation and the depth of vacuum in the interstitial space of the tank is substantiated. On the basis of the analysis, the main admixtures of liquid oxygen were detected and the change in their concentration during transportation was estimated, therefore it was suggested to transport liquid oxygen in railway tanks with an open gas discharge of oxygen vapors from the tank, and to maintain product quality of liquid argon, its transportation was proposed to perform with a closed argon vapor gas discharge (under excess vapor pressure in the tank). The choice of the tank vessel and shell material for safe operation in railway transport is substantiated. For the first time, a description and specifications of an advanced means of transport — a tank container for multimodal transport of liquid oxygen and liquid nitrogen are given.*

**Keywords:** liquid oxygen, liquid argon, liquid nitrogen, railway tank, tank-container, heat insulation, vacuum depth, evaporability, railway platform

### REFERENCES

- [1] *Raketno-kosmicheskaya korporatsiya “Energiya” im. S.P. Koroleva 1946–1996 gg.* [S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. 1946–1996]. Moscow, Menonsovpoligraf Publ., 1996, 670 p.
- [2] Arkharov A.M., Kunis I.D. *Kriogennyye zapravochnyye sistemy startovyykh raketno-tekhnicheskikh kompleksov* [Cryogenic refueling systems of launch rocket and space complexes]. Moscow, BMSTU Publ., 2006, 252 p.
- [3] JSC “Uralkriomash” — “Malaya zemlya Vagonki” [JSC “Uralkriomash” — “The Small Land of the “Vagonka”]. Ekaterinburg, SV-96 Publ., 2004, 208 p.
- [4] Pavlenko S.T., Cheremnykh O.Ya. *Tekhnicheskie gazy — Industrial Gases*, 2007, no. 3, pp. 19–22.
- [5] Arkharov A.M., Smorodin A.I., eds. *Kriogennyye sistemy* [Cryogenic systems]. In 2 vols. Moscow, Mashinostroenie Publ. 1999.
- [6] Kaganer M.T. *Teplovaya izolyatsiya v tekhnike nizkikh temperatur* [Thermal insulation in low temperature technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ. 1966, 275 p.
- [7] Cheremnykh O.Ya. *Tekhnicheskie gazy — Industrial Gases*, 2010, no. 6, pp. 22–29.
- [8] Cheremnykh O.Ya. *Sozдание i opyt ekspluatatsii zheleznodorozhnykh kriogennykh tsistern dlya produktov razdeleniya vozdukh* [Development of railway cryogenic tanks for air separation products and experience of their operation]. *Trudy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Kriogennyye tekhnologii i oborudovanie. Perspektivy razvitiya”* [X International scientific-practical Conference “Cryogenic technologies and equipment. Prospect for the development”]. Moscow, TsVK “Ekspotsentr” Publ., 2013, p. 45.

- [9] *Mezhdunarodnyy morskoy kodeks po opasnym gruzam (Kodeks MMOG)* [International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code)].
- [10] *Mezhdunarodnye pravila perevozki opasnykh gruzov po zheleznyim dorogam* [International regulations concerning the international carriage of dangerous goods by rail (RID)].
- [11] *Evropeyskoe soglasenie o mezhdunarodnoy dorozhnoy perevozke opasnykh gruzov (DOPOG)* [European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)].

**Cheremnykh O.Ya.**, Cand. Sc. (Eng.), Chief Design Officer, JSC “Uralkriomash”.  
Research interests: cryogenic technology. e-mail: cryont@cryont.ru