

**О.Я. Черемных**

ОАО «Уралкриомаш», Восточное шоссе, 24, г. Нижний Тагил, РФ, 622051

e-mail: cryont@cryont.ru

## СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

*Продукты разделения воздуха (кислород, азот, аргон) широко применяются в различных отраслях промышленности. Особый интерес представляет использование этих компонентов в ракетно-космической технике, прежде всего жидких кислорода и азота. Современное криогенное оборудование для хранения и транспортирования жидких кислорода, азота, аргона, а также заправки их в различные ракетно-космические системы, обеспечение стендов для отработки ЖРД, крайне необходимо для успешной реализации национальной космической программы. Сообщается о разработках компании «Уралкриомаш» криогенных изделий нового поколения для современных перспективных технологий, используемых в отечественной и зарубежной ракетно-космической технике.*

**Ключевые слова:** Жидкий кислород. Жидкий азот. Ёмкости-хранилища для жидких кислорода, азота. Железнодорожная цистерна для перевозки жидких криопродуктов. Контейнер-цистерна для хранения и транспортирования сжиженных криогенных газов. Газификаторы кислорода, азота. Особо чистый кислород. Охлаждённый кислород. Ракетно-космическая система. Ракетно-космический комплекс.

**О. Ya. Cheremnikh**

## CREATING A NEW GENERATION OF EQUIPMENT FOR STORAGE AND TRANSPORTATION PRODUCTS OF AIR SEPARATION

*Air separation products (oxygen, nitrogen, argon) are widely used in various industries. Of particular interest is the use of these components in the rocket and space technology, especially of liquid oxygen and nitrogen. Modern cryogenic equipment for storage and transportation of liquid oxygen, nitrogen, argon, and filling them in various space-rocket systems, the provision stands for testing rocket engines, is essential for the successful implementation of the national space program. According to reports the elaboration of the company «Uralkriomash» cryogenic products for today's new generation of advanced technologies used in national and foreign missile and space technology.*

**Keywords:** Liquid oxygen. Liquid nitrogen. Storage tanks for liquid oxygen, nitrogen. Railroad tank cars for transport of liquid cryogenic products. Tank container for storing and transporting cryogenic liquefied gases. Gasifiers oxygen, nitrogen. High purity oxygen. The cooled oxygen. Rocket-space system. Rocket-space complex.

### 1. ВЕДЕНИЕ

Первые в СССР транспортные средства доставки жидкого кислорода, азота для последующей заправки этими компонентами РКС «Союз» были разработаны и изготовлены ОАО «Уралкриомаш» в период 1957-1961 гг. [1-3].

В ракетно-космической технике жидкий кислород применяют в качестве эффективного окислителя в ЖРД ракет-носителей и разгонных блоках [4,5]. Кислород также является окислителем в электрохимических генераторах систем энергоснабжения космических аппаратов [6].

Жидкий кислород используют не только кипящим при атмосферном давлении. Его часто переохлаждают по отношению к кипящему кислороду для того, чтобы увеличить плотность и соответственно заправляемую в баки массу. Охлаждение кислорода осуществляют на стартовом комплексе с помощью специальных средств, входящих в состав системы заправки жидким кислородом баков ракеты-носителя или космического аппарата [7-11].

В двигательных установках в основном используют жидкий кислород второго сорта с чистотой 99,5 % (об.). Для топливных элементов электрохимических генераторов систем энергоснабжения (ЭХГСЭП) косми-

ческих аппаратов требуется особо чистый кислород марки «ОЧ» с чистотой 99,999 % (об.), который может быть получен из обычного кислорода, выпускаемого по ГОСТ 6331-78, при его доочистке в специальной ректификационной установке кислородно-азотного завода. На стартовом комплексе для сохранения чистоты кислорода марки «ОЧ» и предотвращения потерь при длительном его хранении создают специальные хранилища [12].

Жидкие азот и аргон производят на тех же воздуходелительных установках, что и жидкий кислород. Жидкий азот в ракетно-космической технике используют:

- для заправки баков ракет с целью последующей газификации на борту для наддува топливных баков;
- как хладоноситель для охлаждения других компонентов (жидкий кислород и керосин);

В газифицированном виде азот применяют:

- для продувок коммуникаций, баков, резервуаров перед заполнением рабочими компонентами (водородом, сжиженным природным газом);
- для консервации системы коммуникаций, ёмкостей-хранилищ, резервуаров в период хранения между рабочими циклами комплекса;
- для термостатирования, а также пожаро- и взрывопредупреждения отсеков ракет и космических аппаратов;
- как рабочее тело эжекторных установок.

Жидкий аргон используется в основном в газифицированном виде в космических аппаратах. Чистый аргон выпускают по ГОСТ 10157-85 марок А, Б и В с различным содержанием в нём кислорода (от 0,03 до 0,05 %) и азота (от 0,01 до 0,1 %). В аргоне высокой чистоты не допускается наличие кислорода, а содержание азота регламентируется на уровне 0,03 %.

Создание современной наземной космической инфраструктуры требует совершенствования как стационарного, так и транспортного оборудования для доставки, хранения и заправки ракетно-космических систем (РКС) жидкими кислородом и азотом.

К стационарным ёмкостям-хранилищам предъявляются требования:

- обеспечение длительного хранения высокочистых компонентов, например, кислорода марки «ОЧ»;
- охлаждение кислорода и хранение его в хранилище в широком диапазоне температур с последующей заправкой разгонного блока РКС при заданной температуре;
- создание условий для хранения жидкого кислорода с критическими параметрами для стеновой отработки ЖРД;
- наличие широкого номенклатурного ряда резервуаров с необходимыми техническими характе-

ристиками;

Транспортирование продуктов разделения воздуха в настоящее время осуществляется как железнодорожным, так и автомобильным транспортом.

Железнодорожные цистерны должны быть универсальными, т.е. позволяющими перевозить в них кислород, азот, аргон.

Важное требование, предъявляемое к железнодорожным цистернам, — минимизация суточных потерь продукта при его транспортировании, так как это связано как с потерей компонента, так и с небезопасным сбросом паров кислорода в условиях железной дороги.

Для существенного уменьшения потерь криогенного продукта при его доставке от производителя до конечного потребителя в настоящее время перед нами поставлена задача создания нового поколения транспортных средств — контейнеров-цистерн для мультимодальных перевозок жидких кислорода, азота, аргона и сжиженного природного газа (СПГ). Это позволит транспортировать перечисленные продукты с минимальными потерями железнодорожным, автомобильным и морским транспортом. Отдельная задача — совершенствование стационарных хранилищ этих продуктов.

Рассмотрим особенности и характеристики современных систем хранения и транспортирования продуктов разделения воздуха: кислорода, азота, аргона.

## 2. СТАЦИОНАРНЫЕ ХРАНИЛИЩА ДЛЯ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

Существуют различные типы резервуаров для продуктов разделения воздуха, отличающиеся друг от друга объёмами, формой, рабочими давлениями в сосудах, тепловой изоляцией, назначением.

При создании криогенных заправочных систем в составе ракетно-космических комплексов для хранения жидких кислорода, азота и аргона применяют ёмкости-хранилища с объёмами 30-250 м<sup>3</sup> и рабочими давлениями 0,5-1,6 МПа горизонтального или вертикального типов (см. фото 1). Технические характеристики резервуаров представлены в таблицах 1 и 2. В качестве теплоизоляции применяется порошково-вакуумная (аэрогель или перлит) или многослойно-вакуум-



**Фото 1.** Ёмкости-хранилища для продуктов разделения воздуха:  
а — горизонтального типа; б — вертикального

**Таблица 1.** Технические характеристики резервуаров для кислорода, азота, аргона горизонтального типа

Наименование параметра	Значение параметра			
Геометрический объём, м <sup>3</sup>	44	65	119	250
Рабочее давление в сосуде, МПа	0,5			
Масса продукта в ёмкости, кг:				
– кислорода	47000	67000	122000	255600
– азота	34000	47000	86000	181600
– аргона	55000	82000	149000	313400
Потери жидкого продукта от испарения, % в сутки по кислороду, не более	0,26	0,23	0,20	0,11
Тип изоляции	Порошково-вакуумная			
Масса ёмкости, т	20,8	24,5	48,2	93,0
Материал сосуда	Сталь 12Х18Н10Т			
Материал оболочки	Сталь 09Г2С			Сталь 09
Способ выдачи продукта из ёмкости	Вытеснительный, испарителем			
Габаритные размеры ёмкости, мм:				
– длина	13340	14500	24600	32220
– ширина	2824	3174	3174	3800
– высота	3640	3680	3680	3940
Темп выдачи продукта из ёмкости, л/мин	500-800			

**Таблица 2.** Технические характеристики резервуаров для кислорода, азота, аргона вертикального типа

Наименование параметра	Значение параметра			
Геометрический объём, м <sup>3</sup>	30	50	100	150
Рабочее давление в сосуде, МПа	0,5			
Масса продукта в ёмкости, кг:				
– кислорода	30150	50225	100500	150750
– азота	20850	34000	69500	104240
– аргона	36810	61335	122700	184020
Потери жидкого продукта от испарения, % в сутки по кислороду, не более	0,40	0,25	0,21	0,22
Тип изоляции	Порошково-вакуумная			
Масса ёмкости, кг	12210	17720	32780	43180
Материал сосуда	Сталь 12Х18Н10Т			
Материал оболочки	Сталь 09Г2С			
Способ выдачи продукта из ёмкости	Вытеснительный, испарителем			
Габаритные размеры ёмкости, мм:				
– диаметр	3220	3224	3224	3400
– высота	7451	11220	19870	23690
Темп выдачи продукта из ёмкости, л/мин	500-800			

ная. Криогенная арматура, ручная или пневмоуправляемая, сильфонного типа в вакуумном кожухе имеет фторопластовое уплотнение по узлу и седло-клапан. Сосуд резервуара изготавливается из алюминиевого сплава АМг5 или нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

В процессах стендовой отработки водородно-кислородных ЖРД применяются ёмкости-хранилища высокого давления для хранения и выдачи жидкого кислорода (фото 2). Представление о технических характеристиках одной из емкостей дает табл. 3.

Для заправки разгонных блоков ракетно-космических систем применяют охлаждённый жидкий кислород [4]. Его ёмкость-хранилище представлена на фото 3, а технические характеристики приведены в табл. 4.



**Фото 2.** Ёмкость для жидкого кислорода высокого давления

Хранилище охлаждённого кислорода состоит из ёмкости, системы коммуникаций жидких кислорода и азота, пневмоуправления и газоснабжения, контрольно-измерительных приборов (рис. 4). Ёмкость устроена по принципу «сосуд в сосуде» и состоит из сосуда 1 с охлаждённым кислородом, размещённым внутри рубашки 2 с азотным хладагентом, и оболочки 3, изготовленной из обычной низколегированной стали 09Г2С. Сосуд вмещает 44 т жидкого кислорода, сосуд с хладагентом — 22,5 т жидкого азота. Пространство между рубашкой и оболочкой для теплоизоляции заполнено порошком аэрогеля и отвакуумировано. Для поддержания вакуума в теплоизоляционной полости в карманы на рубашке



**Фото 3.** Вид ёмкости-хранилища для охлажденного кислорода

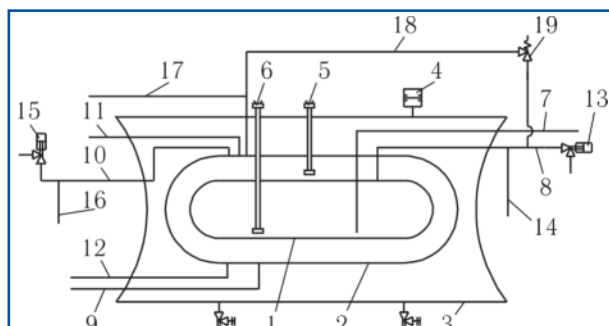


**Таблица 3.** Технические характеристики ёмкости для жидкого кислорода высокого давления

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочая среда	Кислород жидкий
Вместимость сосуда, м <sup>3</sup>	4,1
Рабочее давление в сосуде, МПа	22,0
Испытательное давление в сосуде, МПа	28,6
Минимальная температура рабочей среды, К	75
Масса кислорода в ёмкости, кг	4440
Потери жидкого кислорода от испарения, % в сутки	1,15
Тип изоляции	Экранно-вакуумная
Материал сосуда	Сталь 12Х18Н10Т
Материал оболочки	Сталь 09Г2С
Материал экрана	Алюминиевый сплав АМг5
Толщина внутреннего сосуда, мм:	
– обечайки	110
– днища	80
Масса ёмкости, кг	19000
Габаритные размеры, мм:	
– длина	2720
– ширина	2720
– высота	5237

**Таблица 4.** Технические характеристики ёмкости для охлаждённого жидкого кислорода

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочая среда	Охлаждённый жидкий кислород
Вместимость сосуда, м <sup>3</sup>	42,0
Рабочее давление в сосуде, МПа	1,0
Геометрический объём рубашки с жидким азотом, м <sup>3</sup>	30
Рабочее давление в рубашке, МПа	0,1
Минимальная температура жидкого кислорода в сосуде, К	64
Тип изоляции	Порошково-вакуумная
Материал сосуда для охлаждённого кислорода	Алюминиевый сплав АМг5
Материал сосуда для жидкого азота	Алюминиевый сплав АМг5
Материал оболочки	Сталь 09Г2С
Масса ёмкости, кг	67000
Габаритные размеры ёмкости, мм:	
– длина	24000
– ширина	3200
– высота	4500

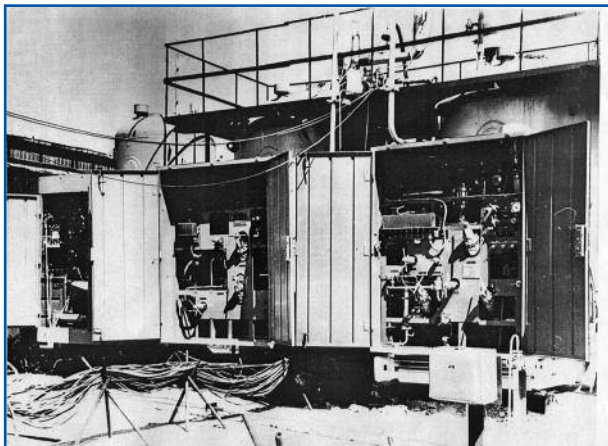
**Рис. 4.** Принципиальная схема ёмкости-хранилища для охлажденного кислорода

помещён адсорбент-силикагель. В верхней части оболочки 3 имеется люк с крышкой, мембранный предохранитель 4 и горловины для установки индикаторов уровня 5 и 6 для жидких кислорода и азота, соответственно. Из полости сосуда 1 выведены жидкостный 7 и газовый 8 трубопроводы, а из рубашки 2 — жидкостный 9 и газовый 10. Коммуникации представляют собой систему трубопроводов, оборудованных запорной и предохранительной арматурой. Их подключение к трубопроводу 7 обеспечивает наполнение сосуда жидким кислородом и его выдачу; подключение к трубопроводу 8 — сброс избыточного давления из сосуда 1 через клапан газосброса 13, подачу газообразного гелия по трубопроводу 14 для создания давления вытеснения охлаждённого жидкого кислорода при заправке бака разгонного блока; подключение к трубопроводам 9 и 11 — наполнение полости хладагента жидким азотом; подключение к трубопроводу 10 — сброс избыточного давления из рубашки через предохранительный клапан 15 и подачу газообразного гелия по трубопроводу 16 для надува полости рубашки и создания в ней избыточной величины противодавления. Трубопровод 17 связан с блоком откачки с помощью эжектора газообразного азота из полости рубашки для охлаждения жидкого кислорода в сосуде. Через линию 11 производится подпитка жидким азотом полости хладагента, а через 12 — его слив. Температуры жидких азота и кислорода в процессе охлаждения кислорода контролируются датчиками температуры.

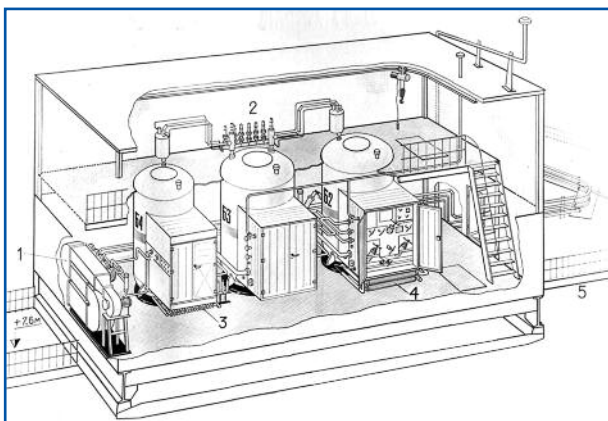
### 3. ХРАНИЛИЩЕ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ

В качестве окислителя в топливных элементах электролитических генераторов системы энергопита-

ния космических аппаратов применяется жидкий кислород особой чистоты. При длительном его хранении (до пяти месяцев) на стартовом комплексе необходимо обеспечить сохранение чистоты и сократить потери в хранилище.



**Фото 5.** Хранилище жидкого кислорода особой чистоты



**Рис. 6.** Блок-схема хранилища жидкого и газообразного кислорода особой чистоты:  
1 — подогреватель газов; 2 — система конденсации; 3, 4 — испарители; 5 — опорная рама агрегата 17Т13; B2 — ёмкость-хранилище; B3 — ёмкость технологическая; B4 — газификатор

В состав хранилища (фото 5) входят три ёмкости с арматурными блоками, конденсаторы, подогреватели газов, запорно-предохранительная арматура, аппаратура КИП, системы пневмоуправления и электрооборудования (рис. 6). Хранилище предназначено для хранения жидкого кислорода марки «ОЧ» с минимальными потерями, осуществления заправки им баков системы энергоснабжения космического аппарата, а также для подачи газообразного кислорода на продувку электрохимического генератора для удаления вредных примесей из топливных элементов. Поставленную цель удалось достичь в результате бездренажного хранения жидкого кислорода в ёмкостях B2 и B4 за счёт конденсации испаряющихся паров кислорода в конденсаторах (рис. 6).

В качестве хладагента в хранилище используется жидкий технический азот первого или второго сорта, заливаемый в технологическую ёмкость B3. Расход

технического азота составляет 1200 кг в месяц, что достаточно выгодно.

Бездренажное хранение жидкого кислорода особой чистоты в ёмкостях B2 и B4 построено на поддержании в них давления в определённом диапазоне 0,04...0,07 МПа, что соответствует равновесным температурам 93,2...95,2 К. Таким образом температурный диапазон составляет 2 град. Характеристики хранилища приводятся в табл. 5.

Процесс хранения осуществляется следующим образом:

- при повышении давления в ёмкости B2 или B4 до 0,07 МПа по сигналу реле давления открывается пневмоклапан на ёмкости B2 (B4) и происходит заполнение конденсатора одной из ёмкостей техническим жидким азотом из ёмкости B3;

- при достижении максимального уровня жидкости в конденсаторе по команде датчика уровня пневмоклапан подачи азота из ёмкости B3 закрывается и наполнение конденсатора прекращается; затем начинается процесс конденсации паров кислорода в ёмкости B2 (B4);

- при снижении уровня в конденсаторе ёмкости B2 (B4) по команде датчика уровня до минимального значения открывается пневмоклапан подачи технологического азота из ёмкости B3, происходит дозаполнение конденсатора, и процесс конденсации паров продолжается;

- при снижении давления в ёмкости B2 (B4) до 0,04 МПа закрывается пневмоклапан подачи технологического азота в конденсатор, после чего давление в ёмкости B2 (B4) повышается до давления 0,07 МПа.

В дальнейшем операции повторяются.

В режиме бездренажного хранения хранилище жидкого кислорода может находиться до пяти месяцев, при этом через каждые семь суток проводится отогрев конденсаторов; через каждые 30 суток хранения — дозаправка ёмкости B3 технологическим азотом (при необходимости) и взятие проб жидкого кислорода из ёмкостей B2, B4 на анализ; через три месяца хранения — обезжиривание конденсаторов.

#### 4. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

Доставку кислорода, азота, аргона на стартовые комплексы осуществляют железнодорожным транспортом. Для этих целей созданы несколько типов железнодорожных цистерн, унифицированных для перевозки кислорода, азота, аргона: 8Г513, 8Г513М, 15-558С, 15-558С-01.

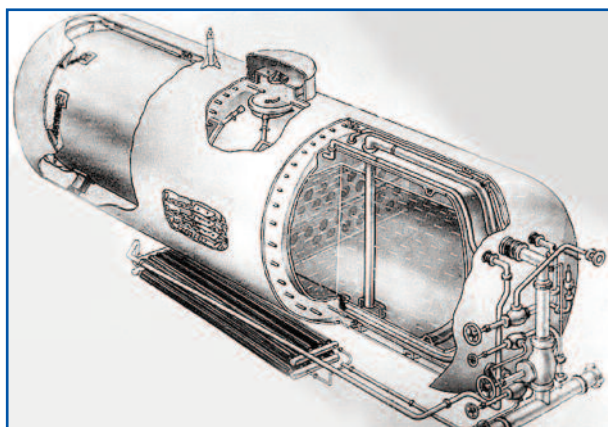
Наиболее распространёнными являются цистерны 8Г513. Их было изготовлено на ОАО «Уралкриомаш» более 2,5 тысяч. Технический ресурс цистерны составляет 35 лет.

Схемы построения цистерн практически одинаковы. Количество перевозимого в них продукта различно из-за отличия в плотностях жидкостей. Они состоят из криогенной ёмкости (рис. 7), установленной на серийной железнодорожной платформе. Внутренний

**Таблица 5.** Технические характеристики хранилища жидкого кислорода особой чистоты

Наименование параметра	Хранилище жидкого кислорода		
	Ёмкость-хранилище	Ёмкость-газификатор	Ёмкость технологическая
Геометрический объём, м <sup>3</sup>	7,12	3,18	7,12
Рабочее давление в сосуде, МПа	1,0	1,6	0,5
Давление в сосуде ёмкости при хранении кислорода, МПа	0,04-0,07	0,04-0,07	0,14-0,17
Масса кислорода в ёмкости, кг	7200	3100	7200
Чистота кислорода, % об.	99,999	99,999	99,95
Потери кислорода от испарения, % в сутки	0,7	1,0	0,7
Тип теплоизоляции	Порошково-вакуумная (аэрогель)		
Способ выдачи продукта из ёмкости	Верхний, с наддувом от испарителя		
Габаритные размеры ёмкости, мм:			
– длина	2410	1750	2410
– ширина	2355	1900	2355
– высота	3855	3800	3855
Материал:			
– сосуда	Сплав АМг5	Сталь 12Х18Н10Т	Сплав АМг5
– оболочка	Сталь 09Г2С	Сталь 09Г2С	Сталь 09Г2С
Расход кислорода технологического кг/месяц			1200

сосуд ёмкости выполнен из алюминиевого сплава АМг5, а наружный кожух — из углеродистой стали 09Г2С. Пространство между кожухом и сосудом заполнено тонкодисперсным теплоизолирующим порошком аэрогеля и отвакуумировано. В межстенном пространстве ёмкости для сокращения времени вакуумирования установлены откачные коллекторы. Для устранения колебания жидкости при транспортировании в ёмкости предусмотрены волнорезы.



**Рис. 7.** Железнодорожная цистерна для транспортирования продуктов разделения воздуха 8Г513

Цистерна снабжена приборами измерения уровня жидкости и давления в сосуде, предохранительными устройствами (мембраны и клапаны) от превышения давления в сосуде и изолирующей полости. Для создания избыточного давления в сосуде при сливе кислорода потребителю цистерна оборудована испарителем.

Цистерна используется для транспортирования кислорода, азота, аргона с открытым газосбросом. В связи с тем, что при перевозке в цистерне 8Г513 жидкого аргона наблюдались случаи ухудшения его качества вследствие загрязнения примесями, находящими-

ся в воздухе, было принято решение о создании новой модели цистерны 8Г513М. В отличие от базовой модели она была оборудована обратным клапаном «дыхания», что позволяло доставлять аргон под избыточным давлением и тем самым, сохранять его качество.

Для цистерн 8Г513 и 8Г513М использовались серийно изготавливаемые предприятием «Уралвагонзавод» железнодорожные тележки модели 18-100 с допустимой нагрузкой на ось 23,25 т. При максимальной массе брутто для цистерны 8Г513, составляющей 71,3 т, нагрузка на ось составила 17,8 т. Таким образом экипажная часть железнодорожной цистерны позволяла обеспечить большую грузоподъемность и следовательно создавала возможность для перевозки больших масс продуктов разделения воздуха.

Такая железнодорожная цистерна, получившая индекс 15-558С, изготавливалась для доставки больших количеств кислорода, азота, аргона на стартовый комплекс РКС «Энергия-Буран» и стенды для отработки ЖРД (фото 8). Технические характеристики железнодорожной цистерны представлены в табл. 6.



**Фото 8.** Железнодорожная цистерна 15-558С-01

Отличительной особенностью цистерны 15-558С (алюминиевый сосуд из сплава АМг5) и её модификации 15-558-01 (нержавеющий сосуд из стали 12Х18Н10Т) от железнодорожной цистерны 8Г513,



**Таблица 6.** Технические характеристики железнодорожных цистерн для транспортирования кислорода, азота, аргона, СПГ

Наименование параметра	Модель железнодорожной цистерны			
	8Г513	8Г513М	15-558С-01	15-558С-02
Геометрический объём, м <sup>3</sup>	33,75	33,75	44	50
Рабочее давление в сосуде, МПа	0,25	0,25	0,5	0,5
Перевозимая масса продукта, т:				
– кислорода	36	36	47	50,3
– азота	25,5	25,5	34	37,8
– аргона	36	36	55	58,7
– СПГ	–	–	–	18,7
Тип теплоизоляции	Порошково-вакуумная			
Потери продукта от испарения, % в сутки:				
– по аргону	0,35	0,35	0,37	0,35
– по азоту	0,35	0,35	0,50	0,44
– по кислороду	0,30	0,30	0,35	0,34
Способ выдачи продукта из ёмкости	Верхний, с наддувом от испарителя			
Габарит цистерны	02-ВМ			
Масса цистерны, т	35,3	35,3	37,8	34,5
Материал сосуда	Сплав АМцС		Сталь 12Х18Н10Т	
Материал оболочки	Сталь 09Г2С			
Габаритные размеры ёмкости, мм:				
– длина по осям автосцепок, мм	12570	12570	14730	12020
– ширина, мм	3000	3000	3040	3230
– высота от уровня головок рельсов	4265	4265	4265	4530
Давление в сосуде при транспортировании жидких продуктов, МПа	Атмосферное	0,03-0,065	0,03-0,45	0,03-0,45
Темп слива, л/мин	700-1000	700-1000	500-800	500-800
Время бездренажного транспортирования продукта в сутках, не более:				
– кислорода			45	45
– азота			30	30
– аргона			30	30
– СПГ			35	35

помимо увеличенной перевозимой массы продукта, является рабочее давление 0,5 МПа, что обеспечивает бездренажное транспортирование продуктов разделения воздуха до 30 суток.

Возможности применения СПГ в различных отраслях промышленности вместе с продуктами разделения воздуха: кислорода как топливной пары в сочетании с СПГ для ракетно-космической или авиационной техники, азота как нейтрального газа для подготовки системы коммуникаций, резервуаров, ёмкостей-хранилищ, заполняемых СПГ, потребовали создания универсальной железнодорожной цистерны для транспортирования кислорода, азота, аргона и СПГ.

В настоящее время завершается разработка технической документации на универсальную цистерну 15-558С-02 (рис. 9). Технические характеристики этой железнодорожной цистерны представлены также в табл. 6.

Перспективным является транспортирование продуктов разделения воздуха в контейнерах-цистернах. Организация мультимодальных перевозок потребовала создания оборудования, разработка которого была выполнена как с соблюдением международных правил IMDG CODE, RID, ARD, так и российских

нормативных документов, в частности, разрешения на применение контейнера-цистерны на опасном производственном объекте. Покажем, как этими правилами приходится руководствоваться.

Допускаемая масса продукта, перевозимого в контейнерах-цистернах, с одной стороны, ограничивается международными правилами. Так, согласно IMDG масса брутто для Евроконтейнера — 32,480 т, для 20-футового контейнера-цистерны и для 40-футового контейнера — 34 и 36 т. С другой стороны, правила ARD регламентируют допускаемую перевозимую массу, включая общую массу: тягача, платформы и массу брутто контейнера-цистерны. В Европе эта допускаемая перевозимая масса составляет 42 и 44 т, в России — 38 т.

Современные Европейские транспортные средства — контейнеровозы, включая тягачи контейнера-платформы имеют массу 11 т. Таким образом, на массу брутто контейнера-цистерны в Европе приходится 31,5 т, в России — 27 т. Если принять за основу 20-футовый контейнер, в габариты которого ICC можно вписать ёмкость на 20 м<sup>3</sup>, то с учётом коэффициента её заполнения, перевозимая масса азота составит 15 т, кислорода 20,5 т, аргона 25 т.

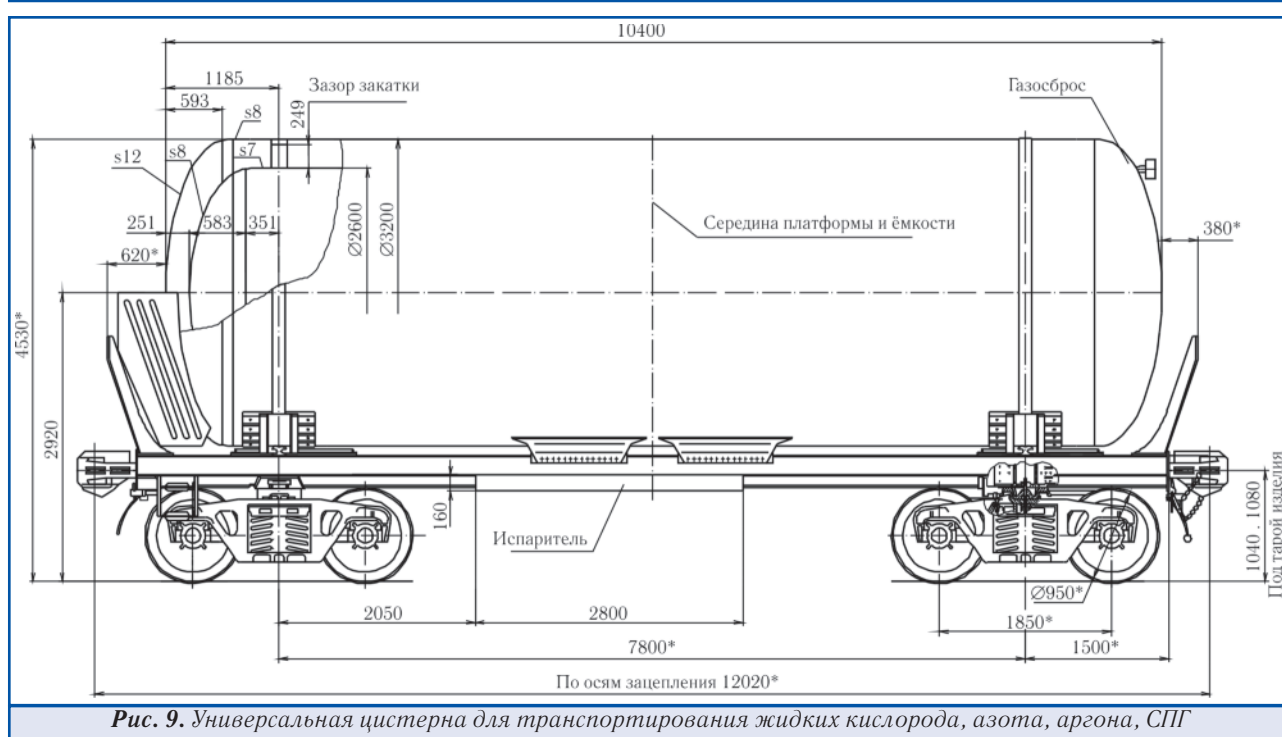


Рис. 9. Универсальная цистерна для транспортирования жидких кислорода, азота, аргона, СПГ

Конструктивные проработки такого контейнера-цистерны объёмом 20 м<sup>3</sup> и рабочим давлением 0,5-1,0 МПа показывают, что собственная масса контейнера-цистерны должна составить 11-12 т. Это даёт возможность в указанном габарите 20-футового контейнера-цистерны перевозить жидкий кислород и жидкий азот.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание на ОАО «Уралкриомаш» криогенного оборудования для транспортирования, мультимодальных перевозок, длительного хранения и газификации продуктов разделения воздуха обеспечивает выполнение требований, предъявляемых к современному парку оборудования, используемого как в ракетно-космической технике, так и в других отраслях промышленности. Достигнутые показатели позволяют планировать дальнейшее совершенствование существующего оборудования, в том числе и оборудования для транспортирования, хранения и газификации продуктов разделения воздуха.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Павленко С.Т., Черемных О.Я. «Уралвагонзавод» приблизил начало космической эры// Технические газы. — 2007. — № 3. — С. 19-22.

2. Зашляпин Р.А., Черемных О.Я. Создание транспортных и стационарных средств для доставки и хранения сжиженных газов// Технические газы. — 2006. — № 1. — С. 20-26.

3. ОАО «Уралкриомаш» — малая Земля Вагонки. — Екатеринбург: СВ-96, 2004. — 208 с.

4. Уманский С.П. Ракеты-носители. Космодромы. — М: Рестар+, 2001. — 216 с.

5. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. Королева С.П. — М.: Моносовполиграф, 1996. — 670 с.

6. Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф. Электрохимические генераторы. — М: Энергоиздат, 1982. — 448 с.

7. А.с. СССР № 42929. Устройство для охлаждения и термостатирования жидких компонентов топлива при заправке ракеты. МКИ F02K11/02.

8. Патент РФ № 2386890. Криогенная заправочная система космического объекта. МКИ F17C5/04.

9. Патент РФ № 2236636. Емкость для хранения криогенного продукта. МКИ F17C3/04.

10. Cheremnych O.Ya., Korneva I.I. The creation of vapor cooling devices for liquid oxygen in stationary reservoirs using liquid nitrogen as a cooling reagent// «Cryogenics», Praha, Czech Republic, 2008. — P. 367-372.

11. Архаров А.М., Кунис И.Д. Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 252 с.

12. А.с. СССР № 298160. Устройство для подачи реагента на электрохимический генератор космического аппарата. МКИ F41F3/00.