

УДК 546/21 (038)

<sup>1</sup>О.Я. Черемных, канд. техн. наук; <sup>2</sup>Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук<sup>1</sup>АО «Уралкриомаш», Восточное шоссе, 24, г. Нижний Тагил, Свердловская область, РФ, 622051<sup>2</sup>ООО «Институт низкотемпературных энерготехнологий», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026e-mail: <sup>1</sup>cryont@cryont.ru; <sup>2</sup>lavrenchenko.g.k@mail.ruORCID: <sup>1</sup>http://orcid.org/0000-0001-6203-3922; <sup>2</sup>http://orcid.org/0000-0002-8239-7587

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАПРАВКИ, ХРАНЕНИЯ И ВЫДАЧИ ИЗ ЁМКостей ЖИДКИХ КРИОПРОДУКТОВ ПРИ ЗАКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

При стендовой отработке водородно-кислородной двигательной ступени ракеты-носителя возникает необходимость в создании ёмкостей-хранилищ жидких водорода и кислорода с рабочими давлениями, значительно превышающими их критические параметры. На основе термодинамического анализа хранения и выдачи из ёмкости водорода и кислорода при закритических параметрах выработаны рекомендации по схемным и конструктивным решениям поддержания давлений в ёмкостях при хранении и выдаче криогенных компонентов на двигательную ступень ракеты-носителя. В работе рассмотрены особенности конструкции криогенных ёмкостей для жидких водорода и кислорода при закритических рабочих давлениях в ёмкостях-хранилищах. Анализируются результаты экспериментов при отработке технологии их заполнения жидким азотом. На основе этих исследований разработаны рекомендации по технологии заполнения ёмкостей-хранилищ жидкими водородом или кислородом при закритических параметрах.

**Ключевые слова:** Ракетный двигатель. Ступень ракеты-носителя. Закритические параметры криогенной жидкости. Жидкий водород. Жидкий кислород. Захолаживание сосуда ёмкости. Криогенная ёмкость. Сопло. Двухфазный поток.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

При стендовой отработке жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) или элементов двигательной ступени при докритических давлениях используют ёмкости для водорода и кислорода, предназначенные для хранения криогенных жидкостей и выдачи их с заданным расходом компонентов ракетных топлив на испытательный стенд [1–3].

При докритических  $p$ ,  $T$ ,  $v$  – параметрах жидкости в ёмкостях находятся в двухфазном состоянии. В ёмкостях всегда имеются газовые подушки для создания рабочего давления в сосуде [4].

При используемых рабочих давлениях (табл. 1) толщина стенки сосуда обычно, не превышает 8–12 мм. В связи с этим не возникает проблем с прочностью сосуда в процессе захолаживания и эксплуатации при рабочем давлении.

При стендовой отработке ЖРД или элементов двигательной ступени при докритических давлениях подача криогенных компонентов непосредственно на испытательный объект производится, как правило, из расходных ёмкостей, установленных вблизи объекта. Длительное хранения криогенных компонентов осуществляется в ёмкостях-хранилищах объёмом 250 м<sup>3</sup> и более при докритическом давлении [5].

В публикации [6], посвященной проблемам внедрения альтернативных топлив в России, сделан вывод о предпочтительности криогенной системы хранения водорода на борту транспортного средства. Разработ-

**Таблица 1.** Технические характеристики криогенных ёмкостей при докритических рабочих давлениях

Наименование параметра	Величина параметра	
	водород	кислород
Вместимость, м <sup>3</sup>	5–100	10–250
Рабочее давление, МПа	1,1	1,6
Потери продукта от испарения, % в сут.	0,2–0,8	0,06–0,2
Тип изоляции	Экранно-вакуумная	Экранно-вакуумная
Толщина стенки сосуда, мм	8–10	10–14
Коэффициент заполнения ёмкости	0,85–0,90	0,85–0,95
Способ выдачи жидкости из ёмкости	От испарителя за счёт надува от стороннего источника	От испарителя надува
Способ захолаживания сосуда ёмкости	Подача жидкого хладагента непосредственно на сосуд	Подача жидкого хладагента непосредственно на сосуд
Время хранения криогенной жидкости в ёмкости, сут.	30 и более	30 и более