

УДК 621.592

СРАВНЕНИЕ МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ ДЛЯ ДРОССЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

© 2013 А. И. Довгялло, Д. В. Сармин, Д. А. Угланов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Представлены результаты испытаний баллона с криогенной заправкой (жидкий азот), которые были проведены на уровне давления до 4 МПа. Показано, что поведение параметров время и давление в резервуаре соответствуют модели, принятой в расчетной программе.

Дроссельный эффект, дроссельная система охлаждения, баллон с криогенной заправкой, экспериментальный стенд.

Обеспечение охлаждения до криогенных температур ИК-приемников, элементов оптических систем и других устройств, устанавливаемых на космических аппаратах, – важнейшее требование, предъявляемое ко многим космическим проектам и диктуемое современной технологией. Каждая система охлаждения может иметь различное значение массы, потребляемой мощности, габаритов, надежности, а в некоторых случаях – специальный диапазон холодопроизводительности и температурного уровня.

Рассматриваемые системы охлаждения можно разделить на два основных типа:

1) *термо-механические системы охлаждения с замкнутым циклом;*

2) *системы охлаждения одноразового действия с разомкнутым циклом, использующие, например, газ высокого давления; эти системы используют хладагенты, находящиеся либо в субкритическом, либо в сверхкритическом состоянии, отвержденные хладагенты.*

Наиболее простой и наименее дорогой системой охлаждения одноразового действия является система охлаждения, основанная на эффекте Джоуля–Томсона и использующая газ под высоким давлением от 10 до 60 МПа.

Дроссельная система охлаждения (состоящая из сопла, дроссельного тепло-

обменника с небольшим внутренним диаметром, экрана и т.д.), позволяет охладить газообразный хладагент до температуры инверсии и получать жидкий хладагент в узле охлаждения объекта. Использование гелия, водорода, аргона или азота даёт возможность обеспечивать температурный уровень охлаждения от 80 до 4,2 К при суммарной мощности тепловыделения объекта от 0,1 до 10 Вт.

Основное ограничение для применения подобных систем – это допустимая масса, которая определяется массой баллона с газообразным хладагентом высокого рабочего давления. Одним из преимуществ такой системы по сравнению с системой охлаждения, основанной на использовании жидкого хладагента, является возможность обеспечения прерывистой (ритмической) работы в течение всего периода функционирования. Системы охлаждения с использованием жидкого хладагента, находящегося в фазовом равновесии с парами, позволяют обеспечивать легко контролируемую, практически постоянную температуру охлаждаемого объекта. Подобные системы охлаждения могут быть использованы в наземных условиях, перспективных авиационных и космических аппаратах.

Большая масса системы, в которой хладагент находится в сверхкритическом состоянии, по сравнению с системой

охлаждения с жидким хладагентом в субкритическом состоянии обусловлена более высоким давлением в резервуаре этой системы.

Одними из основных элементов всего комплекса оборудования в этих технологиях являются ёмкости (стационарные) для хранения и выдачи продукта, а также эксплуатируемые в составе бортовых комплексов.

Объективно полезными и своевременными будут разработка и создание универсального оборудования, способного удовлетворять существующим технологиям применения как компримированных газов, так и криогенных жидкостей.

Примером совмещения существующих и перспективных технологий является универсальная ёмкость по патенту [1]. Проработка зарубежных данных не выявила наличия баллона, который мог бы обеспечивать его заправку как компримированием, так и криогенно-жидким компонентом.

При использовании ёмкости такого типа в качестве стационарного хранилища последнее может выполнять функции также заправочной емкости и аккумулятора давления. Причем это обеспечивается естественной газификацией криопродукта с одновременным термокомпримированием практически без энергетических затрат.

При её функционировании на первом этапе она работает как испарительная с использованием теплоты фазового перехода жидкости, а на втором этапе (после газификации продукта) как обычная дроссельная система. Применение такого баллона в указанной области позволяет также уменьшать время и энергозатраты по заправке и увеличивать время функционирования системы охлаждения в 1,5...2 раза либо уменьшить массогабаритные характеристики системы [2].

В данной работе выполнен расчёт основных характеристик теплообменни-

ков дроссельных систем охлаждения (ДСО) на основе баллона высокого давления (БВД) и на основе баллона с криогенной заправкой (БКЗ) с азотом при температуре 130-135 К при давлении 4 МПа [3]. На рис. 1 представлены рабочие циклы и схемы этих систем. В первом случае в дроссельной системе используется БВД, заправленный азотом с исходным давлением $p_0 = 30$ МПа и температурой $T_0 = 293$ К. Во втором случае в составе дроссельной системы используется БКЗ.

Использование БКЗ обеспечивает ускоренную заправку баллона рабочим телом из криогенно-жидкого состояния, а также способствует сохранению жидкой фазы в течение нескольких часов и даже суток, что весьма важно в полевых условиях.

Расчёты, как и результаты эксперимента, показывают, что даже при длительном хранении криопродукта (на примере азота) и его полной газификации практически исключено захлаживание стенок баллона ниже принятых в настоящее время уровней в -50°C , а циклы силового нагружения давлением баллона могут быть в три раза ниже, чем при заправке компримированием [4].

Технико-экономическая оценка применения БКЗ в составе ДСО показывает (в сравнении с БВД) снижение массы системы в два раза либо пропорциональное увеличение времени её функционирования по сравнению с существующими штатными системами.

При этом было проведено сравнение двух вариантов БКЗ в составе ДСО:

1) холодопроизводительность ДСО $Q=10$ Вт, объём баллона высокого давления и БКЗ 1 л;

2) холодопроизводительность ДСО $Q=10$ Вт, объём баллона высокого давления и БКЗ 8 л.

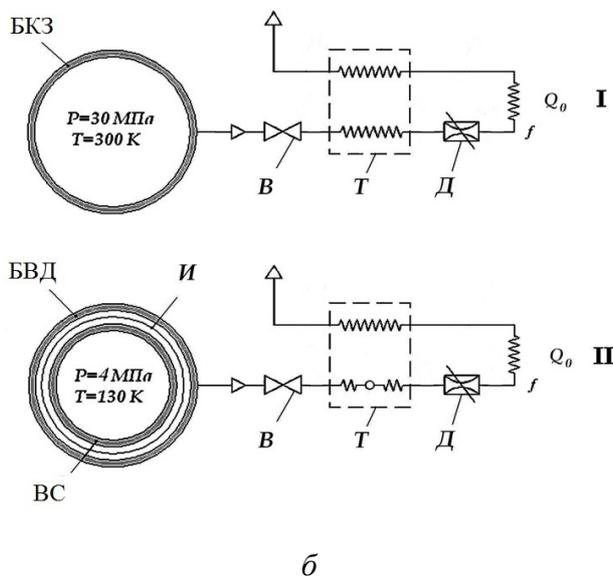
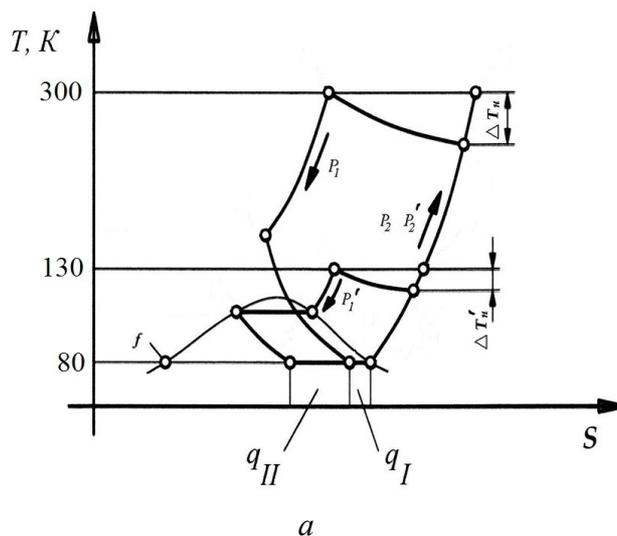


Рис. 1. Работа дроссельных систем охлаждения:
 а – рабочий процесс в $T - S$ диаграмме; б – схемы дроссельных систем охлаждения:
 I – обычная баллонная система; II – система с универсальным баллоном:
 БВД – баллон высокого давления; В – запорный вентиль; Д – дроссельный вентиль; И – теплоизоляция;
 ВС – внутренний сосуд (термос); БКЗ – баллон с криогенной заправкой, Т – теплообменник

Универсальность баллона, заключающаяся в возможности использования рабочего тела как из криогенно-жидкого состояния, так и газообразного, не вносит изменений в конструкцию охладителя, что позволяет использовать штатные микродрельные системы охлаждения.

Анализ (рис. 2) показывает, что время работы ДСО можно увеличить за счёт

БКЗ на 50–80% (в зависимости от массы заправки рабочим телом), в то же время масса БКЗ больше массы БВД при равной холодопроизводительности на 5–20% в зависимости от объёма баллонов.

Для получения объективной характеристики оценки эффективности использования БКЗ в составе ДСО была введена удельная величина – коэффици-

ент времени работы $g = \frac{t_{дсо}}{m_{бал}}$, где $t_{дсо}$ – время работы дроссельной системы, а $m_{бал}$ – масса баллона систем.

Из (рис. 3) следует, что БКЗ при одинаковой массе заправки в составе ДСО увеличивает время работы бортовой системы охлаждения в 1,2-1,5 по сравнению с БВД. Для фиксированного времени работы бортовую ДСО, в состав которой входит БКЗ, необходимо будет заправлять

рабочим телом на 40–60% меньше по сравнению с ДСО на основе баллона высокого давления, что снижает суммарную массу баллона с рабочим телом на 25–30% и компенсирует указанные выше 5...20% дополнительной массы БКЗ.

Таким образом, использование БКЗ позволяет снижать массогабаритные характеристики системы, увеличивать эффективность использования криогенных систем на борту ЛА.

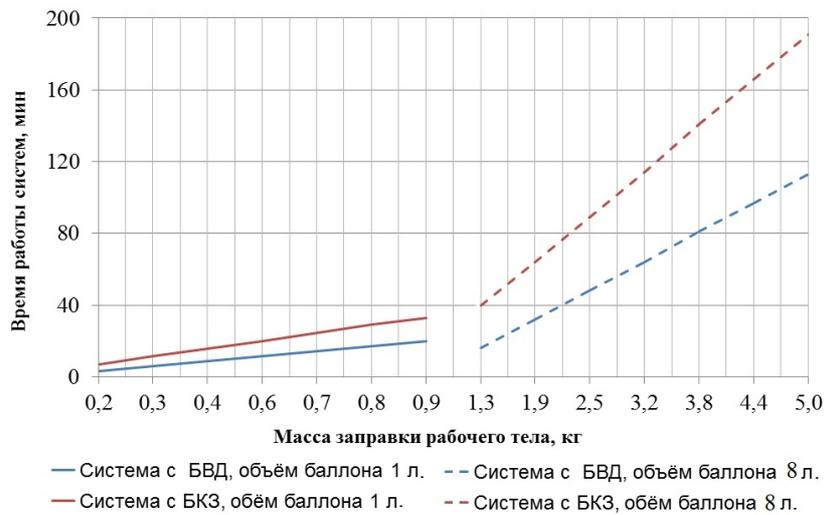


Рис. 2. Зависимость изменения времени работы систем от массы заправки рабочим телом

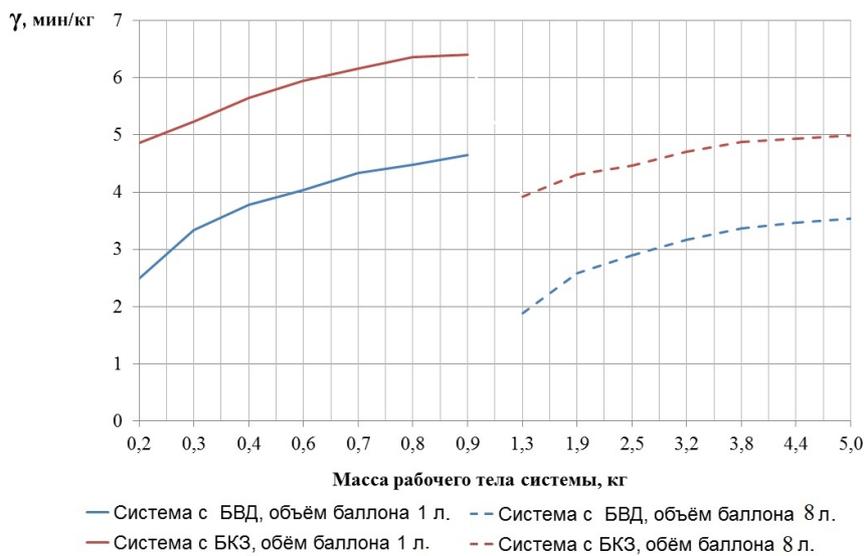


Рис. 3. Зависимость коэффициента времени работы от массы заправки баллона рабочим телом

Библиографический список

1. Топливный баллон [Текст]/ А.И. Довгялло, С.В. Лукачев [и др.]// Патент №2163699, Россия, МПК 7F17C9/02, 99114577/06 заявл. 02.07.1999, опубл. 27.02.2001. Бюл. №6.

2. Довгялло, А.И. Анализ работы баллонного микроохладителя при использовании азота с околокритическими параметрами [Текст]/ А.П. Логашкин, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева. – 2009. – №3 (Ч.2). – С. 143-146.

3. Довгялло, А.И. Оценка термоциклической прочности в топливном баллоне с криогенной заправкой [Текст]/ А.И. Довгялло, Д.А. Угланов, Т.В. Ашихмина // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева. – 2007. – № 2. – С. 83-86.

4. Довгялло, А.И. Особенности постановки задачи расчета процессов для универсального газового баллона как неклассической двухфазной системы и оценка его температурного состояния [Текст]/ А.И. Довгялло, Т.В. Ашихмина // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева. – 2006.– № 1(9). – С. 133-137.

COMPARISON OF MASS PROPERTIES OF HIGH-PRESSURE CYLINDERS WITH CRYOGENIC FILL FOR A THROTTLE COOLING SYSTEM

© 2013 A. I. Dovgjallo, D. V. Sarmin, D. A. Uglanov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The paper presents the results of testing a tank with cryogenic fill (liquid nitrogen) conducted at the level of pressure of up to 4 MPa. The behavior of parameters in the tank, the time and pressure are shown to correspond to the design model.

Throttle effect, throttle system of cooling, tank with cryogenic fill, experimental test bench.

Информация об авторах

Довгялло Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет). E-mail: d.a.i@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Сармин Дмитрий Викторович, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет). E-mail: sarmin.d.v@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Угланов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет). E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Dovgjallo Aleksander Ivanovich, doctor of technical science, professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: d.a.i@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power supplies, energy saving.

Sarmin Dmitry Viktorovich, post-graduate student of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: sarmin.d.v@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power supplies, energy saving.

Uglanov Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical science, associate professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power supplies, energy saving.