

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВОЙ ДРОССЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ИК-ПРИЕМНИКА НА ОСНОВЕ БАЛЛОНА С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ

А.И. Довгялло, С.О. Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов

*Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), г. Самара, Московское шоссе 34*

**Abstract:** В этой статье описывается новый резервуар с криогенной заправкой (жидкий азот). На основании этого резервуара, предлагается создать систему охлаждения заслонки, которая может иметь улучшенные характеристики по сравнению с системой охлаждения на основе высокого давления. Данная статья посвящена первым результатам испытаний резервуаров с криогенной заправкой (жидкий азот), которые были сделаны на уровне давления до 4 МПа. Также показано, что поведение параметров в баке во времени соответствует расчетной модели.

**Keywords:** Баллон с криогенной заправкой, дроссельная система охлаждения, криогенная техника, холодопроизводительность

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обеспечение охлаждения ИК – приемников, элементов оптических систем и других устройств, устанавливаемых на летательных аппаратах, является важнейшим требованием, предъявляемым ко многим аэрокосмическим проектам [1]. Система охлаждения может иметь различные параметры по массе, потребляемой мощности, габаритам, надежности, холодопроизводительности и температуры термостатирования.

Бортовые системы охлаждения можно разделить на три основных типа:

- термомеханические системы охлаждения с замкнутым циклом;
- системы охлаждения одноразового действия с разомкнутым циклом, использующие, например, газ высокого давления;
- вихревые системы охлаждения [8].

Эти системы используют хладагенты, находящиеся либо в субкритическом, либо в сверхкритическом состоянии, отвержденные хладагенты, а также жидкие, сохраняемые при комнатных температурах.

Простейшей и наименее дорогой системой охлаждения одноразового действия является система охлаждения, основанная на эффекте Джоуля – Томпсона и использующая газ под высоким давлением от 7 до 60 МПа.

Использование гелия, водорода, аргона или азота дает возможность обеспечить температурный уровень охлаждения от 74К до 4,2К при суммарной мощности тепловыделения объекта от 0,1 до 10 Вт.

К рабочим телам баллонных дроссельных систем предъявляются повышенные требования по их чистоте, что осуществляется за счет их регазификации из криогенно-жидкого состояния, после чего они заправляются в баллон компримированием или перепуском из аккумуляторов высокого давления.

Время функционирования дроссельных систем охлаждения зависит от массы заправки и потребной холодопроизводительности.

Использование в космической технике криогенных жидкостей для систем охлаждения на борту летательных аппаратов также имеет место. Но по некоторым требованиям эксплуатации их применение вызывает определенные трудности.

Таким образом, из приведенного выше следует, что объективно полезным и своевременным будет разработка и создание универсального оборудования, способного удовлетворять существующим технологиям применения компримированных газов и криогенных жидкостей.

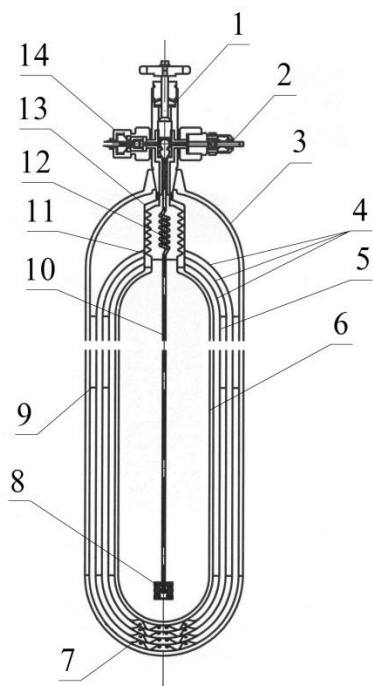
Так, например, на газонаполнительных компрессорных станциях при существующей инфраструктуре и технологиях заправки было бы уместно совместить применяемый в настоящее время способ наполнения баллонов компримированием с заправкой из криогенно – жидкого состояния.

## **2. БАЛЛОН С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ**

Примером совмещения существующих и перспективных технологий является патент «Топливный баллон» Самарского государственного аэрокосмического университета (патент № 2163699, Россия, МПК 7F17C9/02, 99114577/06 заявл. 02.07.1999, опубл. 27.02.2001. Бюл. № 6). На рисунке 1 представлен эскиз баллона по этому патенту [2].

Особенностью его является криогенная заправка, которая позволяет при тех же объемах баллона и массе заправляемого рабочего тела увеличить время функционирования дроссельной системы в 2-2,5раза.

Положенные в основу изобретения идеи заключаются в том, что в случае заправки баллона газообразным продуктом, он работает как обычный, а в случае заправки равным по массе криогенным компонентом, баллон работает в более благоприятных условиях по давлению. Кроме того, внутренняя «термосная» емкость для криогенного компонента и теплоизоляции предотвращает тепловые удары, что характерно для обычных емкостей, и смягчает условия по термоциклической прочности конструкции. Расчёты показывают, что циклы силового нагружения давлением такого баллона в три раза ниже, чем при заправке компримированием [3].

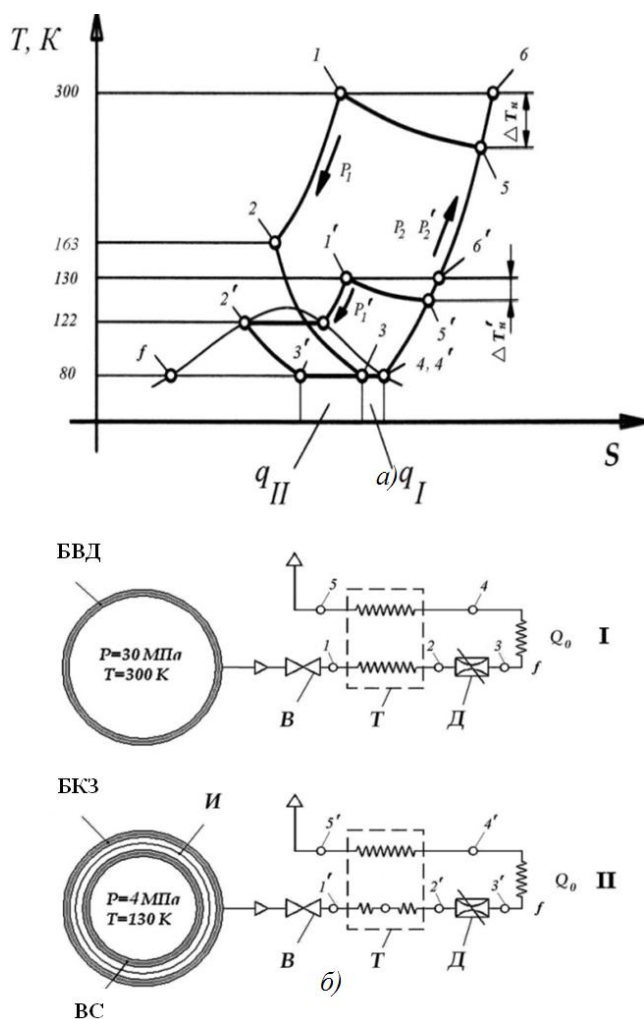


**Fig. (1).** 1 - Баллон с криогенной заправкой:

1 – вентиль запорный; 2 – клапан предохранительный; 3 – баллон; 4 – изоляция; 5 – изоляция внутренней емкости; 6 – внутренняя емкость; 7 – проставки опорные; 8 – фильтр; 9 – проставки радиальные; 10 – стакан; 11 – трубка заправочная; 12 – змеевик; 13 – сиффон; 14 – штуцер

### **3. ДРОССЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ БАЛЛОНА С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ**

Перспективным является применение данного баллона с криогенной заправкой в дроссельных системах охлаждения [3]. В работе [4] выполнен расчет основных характеристик дроссельных систем охлаждения (ДСО) на основе баллона высокого давления (БВД) и на основе баллона с криогенной заправкой (БКЗ). В первом случае в дроссельной системе используется баллон высокого давления, заправленный азотом с исходным давлением  $p_0=30\text{МПа}$  и температурой  $T_0=293\text{К}$ . Во втором случае в составе дроссельной системы используется баллон с криогенной заправкой (БКЗ). Выполненные термодинамические расчеты показали, что в случае заправки такого баллона криопродуктом (азотом) через 30-40 часов наступает равновесное состояние системы баллон - рабочее тело. Температура последнего составляет величину  $T_0=130-170\text{К}$  при давлении  $p_0=3\text{МПа}$ . В обоих случаях начальная масса рабочего тела одинакова. На рисунке 2 представлены циклы работы для двух вариантов дроссельной системы охлаждения.



**Fig. (2).** - Работа дроссельных систем охлаждения:

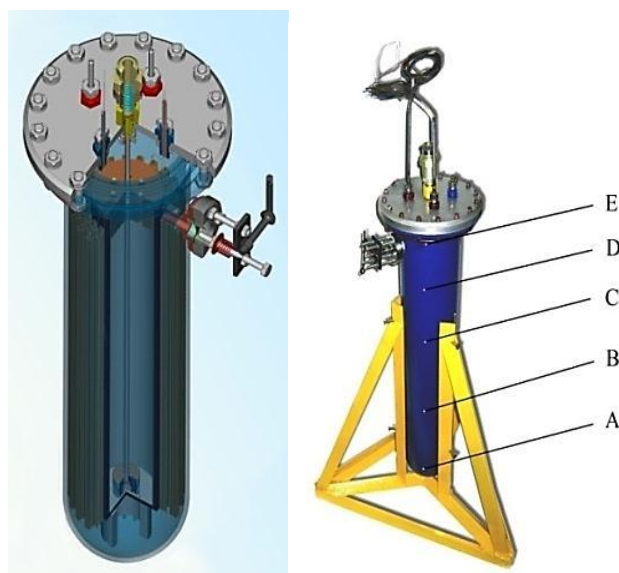
а) рабочий процесс в  $T-S$  диаграмме; б) – схемы дроссельных систем охлаждения: I – обычная баллонная система; II – система с БКЗ; БВД – баллон высокого давления; В – запорный вентиль; Д – дроссельный вентиль; ВС – внутренний сосуд (термос) И – теплоизоляция; БКЗ – баллон с криогенной заправкой, Т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

#### 4. ИМИТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ БАЛЛОНА С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ ДЛЯ ДРОССЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

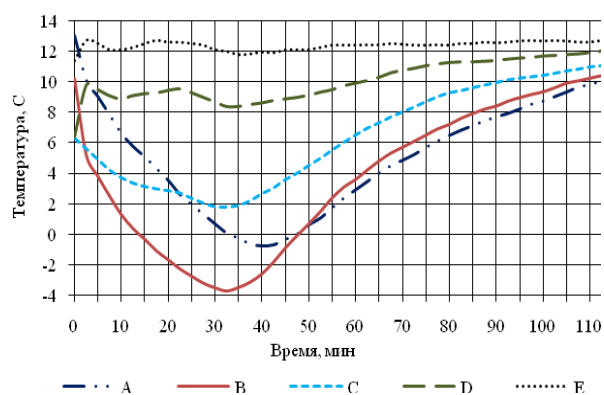
Имитационные испытания баллона с криогенной заправкой для дроссельной системы охлаждения показали правильность теоретических моделей и методик расчета, а также надежность данной системы [5,6].

Испытания проводились для двух режимов безрасходного и расходного. В ходе испытаний регистрировались давление и температура стенки баллона, стенки термосной ёмкости, газа и жидкости. Давление в баллоне изменялось от 0,1 до 1,6 МПа. Уровень давления при испытаниях ограничивался требованиями техники безопасности, при этом на теплофизические процессы это не оказывало влияния. Масса ёмкости с предохранительной автоматикой составила 8,8 кг (рисунок 3). Температура стенки

ёмкости в различных сечениях в зависимости от времени работы на расходном режиме фиксировалась тепловизором и представлена на рисунке 4.



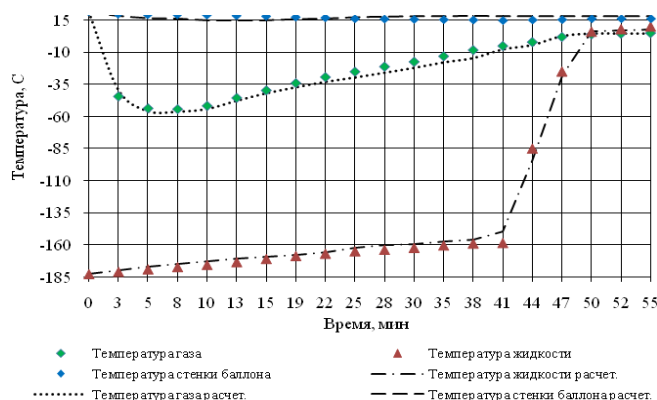
**Fig. (3).** – Конструкция и фото внешнего вида установки макетного образца БКЗ



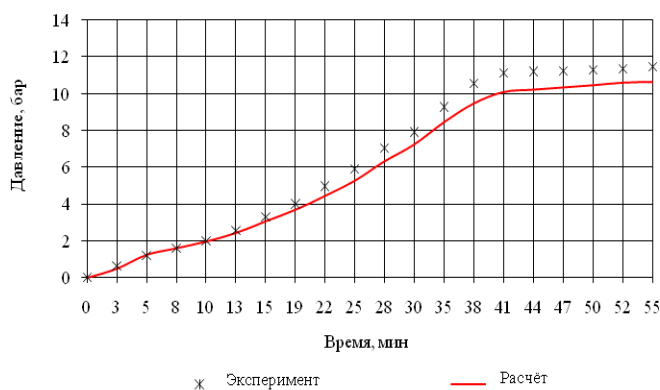
**Fig. (4).** – Распределение температуры стенки баллона в различных сечениях в зависимости от времени работы на расходном режиме (индексация точек соответствует рисунку 3)

На рисунках 5 и 6 экспериментальные кривые по температуре и давлению наложены на расчётные графики изменения давления и температуры, полученные по вышеизложенной методике при давлении заправки 0,1 МПа жидкого криопродукта.

Максимальное рассогласование теоретических и экспериментальной данных по давлению составило 8 % по температуре 3 %, что указывает на применимость методик.



**Fig. (5)** – Расчётные и экспериментальные графики изменения температуры жидкости, изоляции, газа и стенки БКЗ от времени хранения криопродукта (безрасходный режим)



**Fig. (6)**– Расчётные и экспериментальное изменение давления газа по времени хранения криопродукта в БКЗ (безрасходный режим)

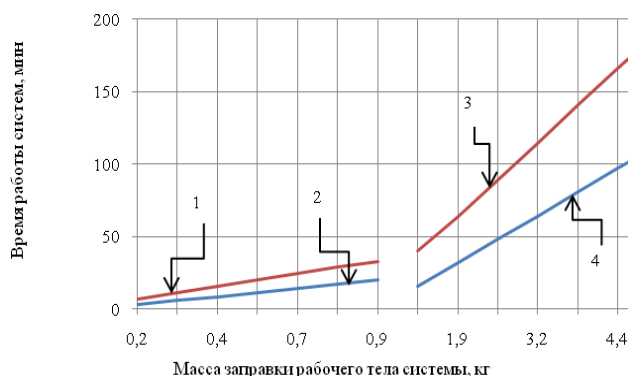
## 5. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ БАЛЛОНА С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ

Технико – экономическая оценка применения БКЗ в составе дроссельной системы охлаждения показывает в сравнении с БВД снижение массы системы в два раза либо пропорциональное увеличение времени ее функционирования по сравнению с существующими штатными системами [7].

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

1. Холодопроизводительность ДСО  $Q = 10$  Вт, объем баллона высокого давления и БКЗ 1 л.
2. Холодопроизводительность ДСО  $Q = 10$  Вт, объем баллона высокого давления и БКЗ 8 л.

Анализ графика (рисунок 7) показывает, что время работы ДСО можно увеличить за счёт БКЗ на 50 – 80 % (в зависимости от массы заправки рабочим телом) в тоже время масса БКЗ больше БВД при равной холодопроизводительности на 5 – 20 % в зависимости от объёма баллонов.

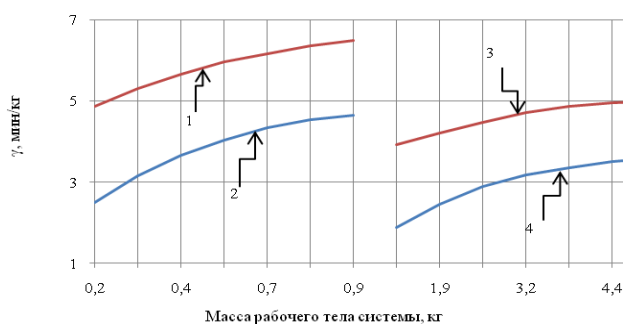


**Fig. (7).** – График изменения времени работы систем от массы заправки рабочим телом: 1 – система с БКЗ, объём баллона 1 л.; 2 – система с БВД, объём баллона 1 л.; 3 – система с БКЗ, объём баллона 8 л.; 4 – система с БВД, объём баллона 8 л.

Для получения объективной характеристики оценки эффективности использования БКЗ в составе ДСО была введена удельная величина – коэффициент времени работы:

$$\gamma = \frac{\tau_{\text{дсо}}}{m_{\text{бал}}},$$

где  $\tau_{\text{дсо}}$  – время работы дроссельной системы, а  $m_{\text{бал}}$  – масса рабочего тела в баллоне системы.



**Fig. (8).** Зависимость коэффициент времени работы от массы заправки баллона рабочим телом.

1 – система с БКЗ, объём баллона 1 л.; 2 – система с БВД, объём баллона 1 л.; 3 – система с БКЗ, объём баллона 8 л.; 4 – система с БВД, объём баллона 8 л.

Анализ графика (рисунок 8) показывает, что БКЗ при одинаковой массе заправки в составе ДСО увеличивает время работы бортовой системы охлаждения в 1,2 – 1,5 по сравнению с БВД. Или 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

## 6. ВЫВОДЫ



На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что использование БКЗ позволяет снизить массогабаритные характеристики системы охлаждения и повысить эффективность использования криогенных систем на борту летательных аппаратов.

## **7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, данные показатели позволяют объективно оценить потенциальные возможности получения дополнительной энергии при использовании криопродуктов с последующей их регазификацией в БКЗ с учетом эксплуатационных ограничений и потребного расхода рабочего тела. На основании выше изложенного можно сделать вывод о перспективности предлагаемого технического решения и о возможности его применения в различных областях техники.

## **КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Автор подтверждает, что представленные данные не содержат конфликта интересов.

## **БЛАГОДАРНОСТИ**

Работа была подготовлена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

## **ССЫЛКИ**

[1] Красночуб, Е.К. Микроркриогенные системы охлаждения космических летательных аппаратов инфракрасного наблюдения на основе микроркриогенных систем [Текст] / Е.К. Красночуб // Полет. – Самара, 2004. – №11. – С. 41-48.

[2] Патент 2163699, Российская Федерация, МПК 7F17C9/02/ Топливный баллон [Текст] / А.И. Довгялло, С.В. Лукачев и др. заявитель и патентообладатель СГАУ. – №9911457706 заявл. 02.07.1997, опубли. 27.02.2001. Бюл. №6

[3] Довгялло А.И., Угланов Д.А. Теплообмен и термоциклическая прочность в топливном баллоне с криогенной заправкой// Вестник СГАУ. – 2007. - №2.

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

[5] А.И. Довгялло, Д.В. Сармин, Д.А.Угланов. Предварительные исследования тепловых процессов в баллоне с криогенной заправкой бортовой дроссельной системы// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева, – 2011 - №3 (Ч.4), с. 78-85

[6] Д.В. Сармин., С.О. Некрасова Д.А. Угланов, А.И. Довгялло /Имитационные испытания баллона с криогенной заправкой для дроссельной системы охлаждения и ее сравнительные характеристики [Текст] // Прикладная физика, 2013. – № 4. – С. 54-59.

[7] А.И. Довгялло, А.П. Логашкин, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов , Е.С. Шатохин Сравнение массовых характеристик баллона с криогенной заправкой и баллона высокого давления для дроссельной системы охлаждения Вестник Самарского





государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева., 2013, №3, 112-118

[8] Biryuk, V.V. Vortex effect of gas energy separation in aircraft engineering and technology; (1993) Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Aviatsionnaya Tekhnika, (2), pp. 20-23.