

## Дроссельная бортовая система охлаждения на базе баллона с криогенной заправкой

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

*Представлены результаты работы о возможности увеличения времени функционирования дроссельной системы ИК-приемников излучения, устанавливаемых на борту летательного аппарата за счет использования универсального газового баллона.*

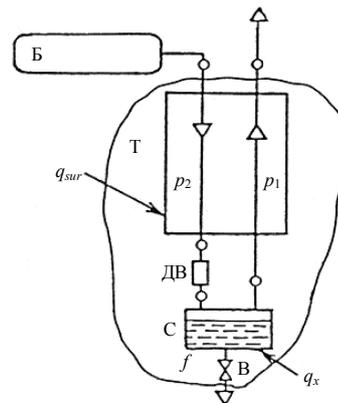
PACS: 06.60.-с; 07.20.Мс

*Ключевые слова:* инфракрасный приемник, охлаждение, дроссельная система.

### Введение

Существуют баллонные дроссельные системы охлаждения (рис. 1), устанавливаемые на борту наземного транспортного средства или летательного аппарата, которые используются для термостатирования ИК-приемников излучения и других элементов радиоэлектронной аппаратуры. Отечественные системы, выпускаемые, например, ООО «НТК "Криогенная техника"», работают за счет расхода газа (или смесей газов) из баллонов высокого давления. Они обеспечивают температурный уровень охлаждения 80 К при использовании азота в качестве рабочего тела. Такие системы могут работать и на газовых смесях, обеспечивая тем самым другие температуры термостатирования.

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.



**Рис. 1. Схема дроссельной системы охлаждения:**  
Б — баллон; Т — теплообменник-регенератор; ДВ — дроссельный вентиль; С — объект охлаждения; В — вентиль

Довгялло Александр Иванович, профессор.  
Сармин Дмитрий Викторович, аспирант.  
Угланов Дмитрий Александрович, ассистент кафедры.  
Самарский государственный аэрокосмический университет.  
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34-б.  
Тел. (846) 267-45-68.

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2008 г.

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

**Универсальный газовый баллон**

Существует возможность увеличить время работы таких систем за счет использования в их составе так называемого универсального газового баллона [1]. Особенностью данного баллона является криогенная заправка, которая позволяет при тех же его объемах и массе заправляемого рабочего тела увеличить время функционирования дроссельной системы в 2—2,5 раза. Конструктивная схема баллона представлена на рис. 2.

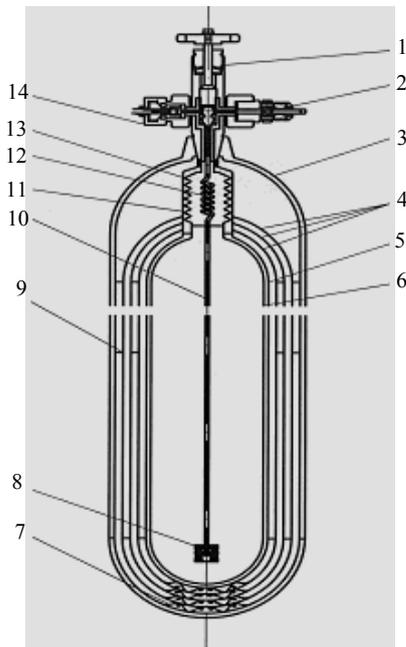


Рис. 2. Универсальный газовый баллон:

- 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 — сильфон;
- 14 — штуцер

**Методика расчета**

Были проведены сравнительные расчеты работы дроссельной системы охлаждения при различных параметрах рабочего тела в исходном состоянии. В первом случае в дроссельной системе используется стандартный баллон, заправленный азотом с исходным давлением  $p_0 = 30$  МПа и температурой  $T_0 = 293$  К. Во втором случае в составе дроссельной системы используется указанный выше универсальный газовый баллон. Предварительно выполненные термодинамические расчеты показали, что в случае заправки такого баллона криопродуктом (азотом) через 30—40 ч наступает равновесное состояние системы баллон—рабочее тело.

Температура последнего составляет  $T_0 = 130—135$  К при давлении  $p_0 = 3$  МПа. В обоих случаях начальная масса рабочего тела одинакова. На рис. 3, а, б представлены циклы работы для двух вариантов дроссельной системы охлаждения.

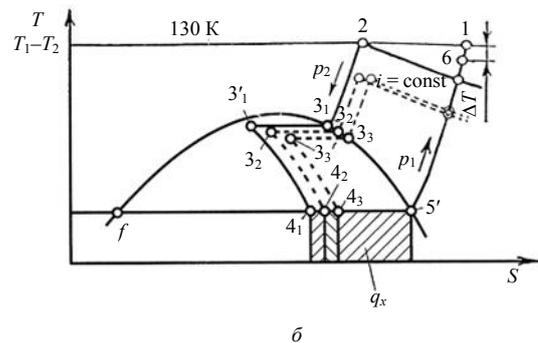
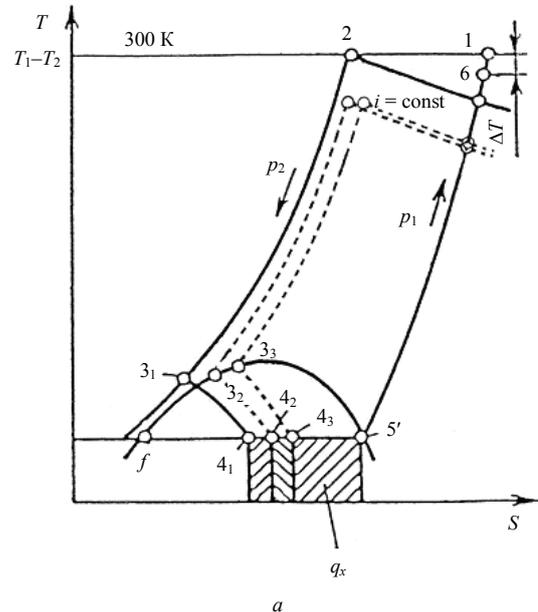


Рис. 3. T—S-диаграмма дроссельной системы охлаждения:  
 а — дроссельная система со стандартным баллоном;  
 б — дроссельная система с универсальным газовым баллоном;  
 цифры — различные точки цикла

Пусть стандартный и универсальный баллоны имеют равные объемы  $V_b = 10$  л. Начальная масса рабочего тела равна соответственно  $m_0 = 3$  кг. Холодопроизводительность системы должна составлять величину  $Q_x = 10$  Вт.

Расчет для дроссельной системы первого вида выполняется в соответствии с работой [2]. Используя данные о температуре азота до и после дросселирования, определяются соответствующие значения энтальпии  $i_5, i_6$  и  $i_2$  [3].

По условию баланса в теплообменнике теоретически имеем

$$q_T^{theor} = i_2 - i_{3T} = i_6 - i_5,$$

т. е.  $i_{3T} = i_2 - i_6 + i_5.$

Если оценить эффективность теплообменника в 95 %, то за счет теплопритоков в нем из охлаждающей среды поступит  $q_{sur} = 0,05 q_T^{theor}$ ; соответственно действительное значение энтальпии в точке 3 (см. рис. 3) рассчитывается с помощью выражения

$$i_3 = i_{3T} + q_{sur}.$$

Удельная холодопроизводительность составит

$$q_x = i_5 - i_4 = i_5 - i_3.$$

Потребный расход азота определяется полной холодопроизводительностью  $Q_x = 10$  Вт:

$$G_{N_2} = \frac{Q_x}{q_x}.$$

Время работы системы в режиме дросселирования разбивается на равные промежутки времени (шаг расчета)  $\Delta t$  и делается допущение, что за данный промежуток времени расход, давление и другие параметры газа в баллоне не изменяются. Принимаем  $\Delta t = 10$  мин. За данный промежуток времени масса азота в баллоне уменьшится на  $\Delta m = G_{N_2} \cdot \Delta t$ .

Оставшаяся масса азота в баллоне будет  $m_{i-1} = m_i - \Delta m$ .

В соответствии с [4] через промежуток времени  $\Delta t$  давление  $p_0$  в баллоне примет значение

$$p_i = p_0 \left( \frac{m_i}{m_0} \right)^k, \text{ где } k \text{ — коэффициент адиабаты}$$

рабочего тела;  $i$  — номер шага расчета.

Расчет повторяется до тех пор, пока удельная холодопроизводительность  $q_x$  не примет отрицательное значение. Полное время работы системы охлаждения соответственно равно  $\tau = \Delta t \cdot n$ , где  $n$  — число шагов расчета.

Аналогично выполняется расчет для второго варианта дроссельной системы охлаждения и отличается только тепловым балансом в теплообменнике-регенераторе, т. е.

$$\begin{cases} q_{T1}^{theor} = i_2 - i_{3T} = i_6 - i_5, \\ q_{T2}^{theor} = i_{3\delta} - i_4 = i_5 - i_5'. \end{cases}$$

### Результаты расчета

Результаты расчетов показывают, что время функционирования разомкнутой дроссельной системы охлаждения со стандартным баллоном и с универсальным газовым баллоном, соответственно, равны  $\tau_{st} = 60$  мин и  $\tau_{un} = 90$  мин. Графики изменения расхода хладагента и удельной холодо-

производительности по времени работы систем охлаждения представлены на рис. 4, а, б.

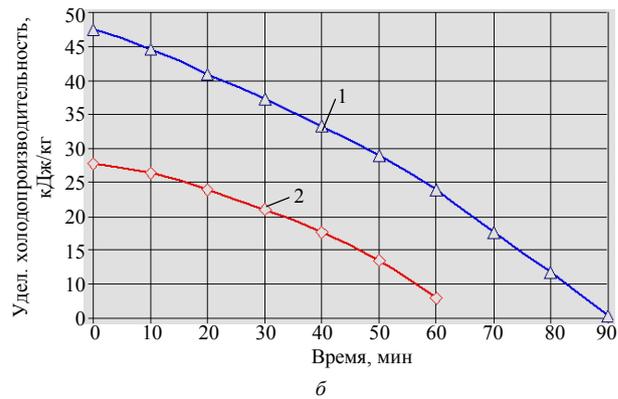
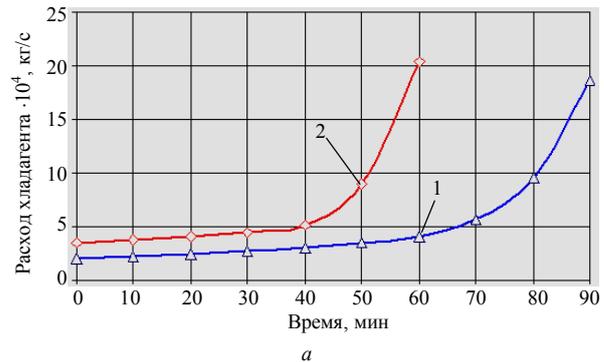


Рис. 4. График изменения:

а — расхода хладагента по времени работы систем охлаждения; б — удельной холодопроизводительности по времени работы систем охлаждения: 1 — дроссельная система с универсальным баллоном; 2 — со стандартным баллоном

Для сравнения был сделан расчет в режиме испарительного охлаждения для жидкого азота (80 К) при среднем значении теплоты испарения  $r = 150$  кДж/кг (в диапазоне давлений (0,1—0,3 МПа)). Расход криогенного компонента составил:

$$G_{liq} = \frac{Q_x}{r} = \frac{10}{150 \cdot 10^3} = 0,67 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с}.$$

Время отбора жидкой фазы азота и ее газификации (и, соответственно, время работы) составит

$$\tau_{liq} = \frac{m_0}{G_{liq}} = \frac{3}{0,67 \cdot 10^{-4} \cdot 3600} = 12,5 \text{ ч}.$$

На рис. 5 приведен график зависимости времени работы системы охлаждения, на котором вправо от точки А рабочее тело в баллоне находится в однофазном состоянии, а слева до точки А — в двухфазном (что неудобно для наземной работы дроссельной системы). Диапазон слева можно рассматривать как область работы испарительных систем, т. е. систем другого типа.

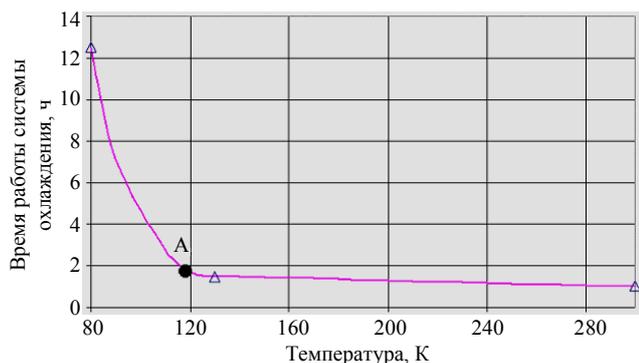


Рис. 5. Время работы системы охлаждения в зависимости от начального состояния и температуры рабочего тела в баллоне

Учитывая специфику существующих авиационных дроссельных систем, можно утверждать, что по технологическим и эксплуатационным требованиям рассматриваемая система охлаждения на базе универсального баллона имеет свои преимущества и перспективы.

Она обеспечивает необходимую холодопроизводительность при расходе хладагента в 2—2,5 раза меньше, чем в случае использования сжатого газа из стандартных баллонов дроссельных систем. Это в свою очередь приводит к увеличению времени функционирования системы либо позволяет уменьшить массу и габаритные размеры баллона. Применение последнего в указанной области позволяет также уменьшить время и энергозатраты при заправке.

Следует отметить, что начальные параметры рабочего тела в баллоне будут определяться временем, прошедшим после его заправки криоагентом

(например, временем его нахождения на складе). Естественно, что максимальное время функционирования системы охлаждения будет в том случае, когда баллон сразу после заправки подключают к системе, минимальное (номинальное) время работы системы охлаждения будет соответствовать полной газификации криоагента и прогрева его до нормального уровня температуры (297 К), т. е. штатному варианту на сжатом газе. Все остальные промежуточные между этими состояниями определяют время функционирования системы больше, чем номинальное.

### Заключение

Объективно полезным и своевременным является применение универсального газового баллона в составе систем охлаждения ИК-приемников излучения, так как он может удовлетворять существующим технологиям использования компримированных газов и криогенных жидкостей, увеличить время функционирования системы в 1,5 раза, сэкономить время и затраты энергии на заправку.

### Литература

1. Пат. 2163699. Россия. Топливный баллон/ Довгялло А. И., Лукачев С. В. и др.// МПК 7 F 17 C 9/02, 99114577//06; Заявл. 02.07.1977; Опубл. 27.02.2001. Бюл. № 6.
2. Барон Р. Ф. Криогенные системы. — М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 408.
3. Сычев В. В., Вассерманн А. А., Козлов А. Д., Спиридонов Г. А., Цымарный В. А. Термодинамические свойства азота. — М.: Изд-во стандартов, 1977. С. 352.
4. Жуковский В. А. Термодинамика. — М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 304.

## Throttle cooling systems based on the tank with cryogenic refueling

A. I. Dovgyallo, D. V. Sarmin, D. A. Uglanov

Samara State Aerospace University, 34-b Noscov road, Samara, 443086, Russia

*In this paper it is shown results about possibility to increase the working time of throttle cooling system of IR-receivers that are installed on vehicle or aircraft with universal gas tank using.*

PACS: 06.60.-c; 07.20.Mc

Keywords: infra-red detector, cooling, throttle system.

Bibliography — 4 references.

Received 11 December 2009