

## Испытания посадочного аппарата в климатических условиях поверхности Марса в термовакуумной камере

А.Ю. Кочетков,  
г. Химки, АО "НПО им. С.А. Лавочкина" [kochetkov@laspace.ru](mailto:kochetkov@laspace.ru)

*В статье рассматривается вопрос об имитации климатических условий Марса при наземной термовакуумной отработке посадочного аппарата в универсальной термовакуумной камере.*

***Testing of the Lander in the climatic conditions of Mars in the thermal vacuum chamber.***  
***A.Yu. Kochetkov.*** *The article discusses the issue of imitating the climatic conditions of Mars during ground-based thermal vacuum testing of a Lander in a universal thermal vacuum chamber.*

Одним из важных этапов наземной термовакуумной отработки марсианского посадочного аппарата являются испытания по моделированию условий поверхности Марса. Специальные экспериментальные установки, способные воспроизводить параметры атмосферы Марса отсутствуют, так как постройка специального стенда влечёт за собой большие материальные затраты. Поэтому актуальной задачей становится проведение "марсианских" испытаний в имеющейся универсальной термовакуумной камере.

Атмосфера Марса имеет сложную структуру и быстроменяющиеся параметры, поэтому при моделировании принимают следующие допущения:

- поток солнечного излучения на орбите изменяется в среднем от 495 до 750 Вт/м<sup>2</sup>;
- продолжительность суток 24,6 часа;
- состав атмосферы 100% CO<sub>2</sub>;
- давление на поверхности от 400 до 1900 Па (от 4 до 19 мбар);
- температура поверхности днём от 0 до 30 °С;
- температура поверхности ночью от минус 120 до минус 100 °С .

Атмосфера Марса также характеризуется сильными ветрами до 40 м/с, порывами до 100 м/с и высоким содержанием пыли.

При давлении 400 до 1900 Па, которое необходимо создавать в рабочем объёме вакуумной камеры, конвективная составляющая теплообмена вносит существенный вклад в теплообмен между космическим аппаратом и окружающей средой, поэтому пренебречь им нельзя.

Методика термовакуумных испытаний должна быть следующая. Термовакуумная камера должна откачиваться до давления  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па ( $1 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст.) для удаления из рабочего объёма атмосферных газов. Далее в азотные экраны подаётся жидкий азот и одновременно включаются бортовые тепловые нагрузки и инфракрасные нагреватели, имитирующие внешние тепловые нагрузки. После получения стационарного режима при высоком вакууме вакуумные насосы отсекаются от рабочего объёма, и в него подаётся чистый азот до необходимого давления. Далее ведутся испытательные режимы при заданном давлении. Давление в рабочем объёме термовакуумной камеры регулируется подачей газа и включением вакуумных насосов.

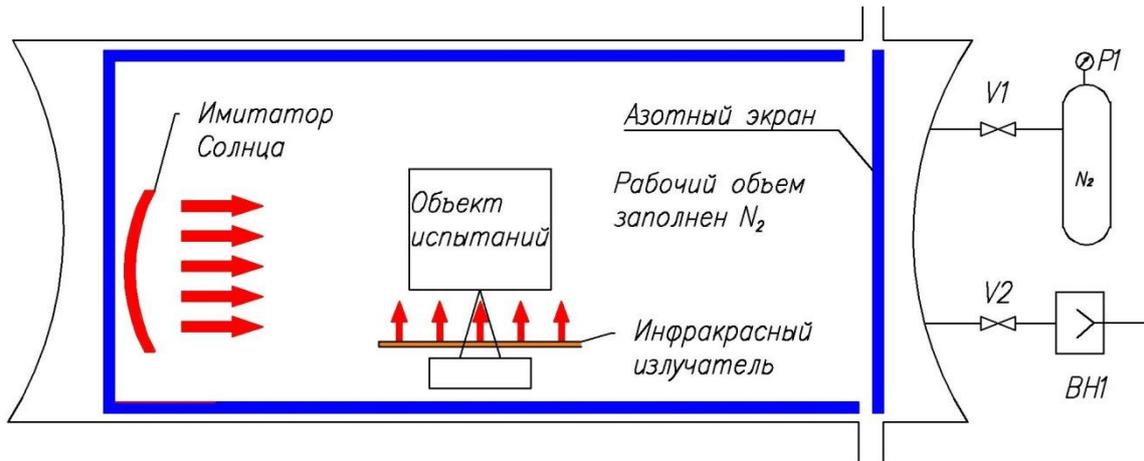


Рис. 1. Схема термовакuumной камеры.

Для имитации климатических условий поверхности Марса использовалась термовакuumная камера, оснащённая системами, обладающими следующими характеристиками:

- азотными экранами, имеющими температуру минус 170 до 30 °С;
- инфракрасный имитатор Солнца с плотностью теплового потока от 495 до 750 Вт/м<sup>2</sup>;
- инфракрасный излучатель, имитирующий излучение от поверхности планеты;
- рабочий объём термовакuumной камеры заполнен азотом, с контролируемым давлением от 400 до 4000 Па.

Схема термовакuumной камеры представлена на рис. 1. На рис. 1 использованы следующие обозначения: P1 - манометр на сосуде с азотом, N<sub>2</sub> - сосуд с азотом, ВН1 - вакуумный насос, V1 и V2 - вентили.

На внешней поверхности термовакuumной камеры устанавливались датчики температуры. Схема установки термодатчиков представлена на рис. 2.

Результаты измерения температуры представлены в таблице 1, зависимость температуры стенки термовакuumной камеры от давления в рабочем объёме представлена на рис. 3.

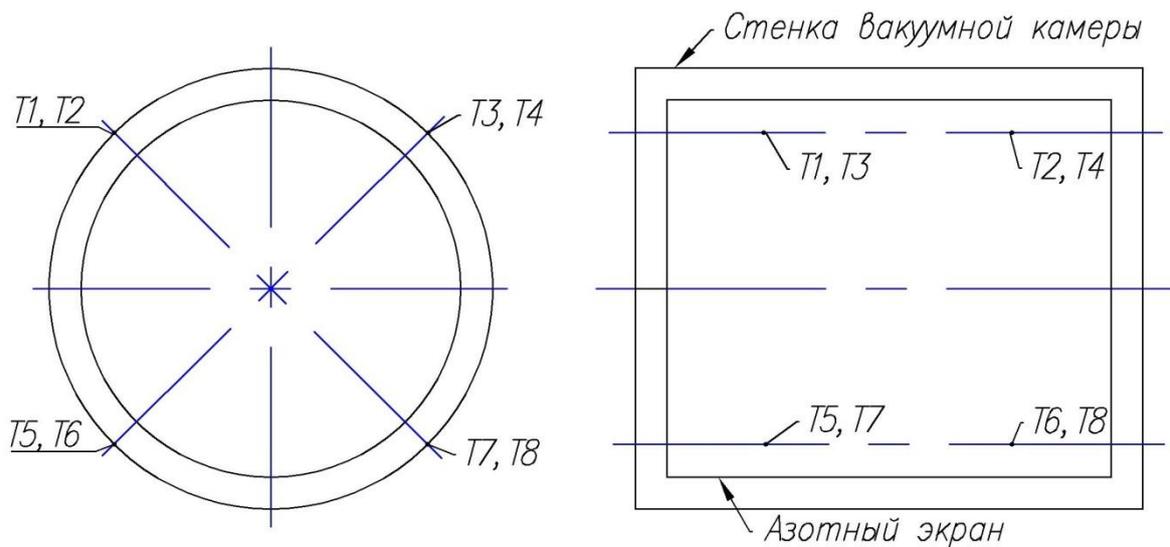


Рис. 2. Схема установки датчиков температуры.

Первая строчка в таблице - температура стенки вакуумной камеры перед началом эксперимента при атмосферном давлении, до заливки азотных экранов.

Таблица 1. Результаты измерения температуры.

Время сутки	Давление Па	T1 С	T2 С	T3 С	T4 С	T5 С	T6 С	T7 С	T8 С
1	101 000	22,1	21,9	21,3	21,3	20,2	21,3	20,0	21,0
2	0,001	20,4	20,3	19,9	19,6	18,9	20,1	18,8	19,8
3	0,001	20,8	20,6	20,6	20,1	19,2	20,3	19,1	20,1
4	665	16,3	16,3	17,2	16,1	13,5	13,8	13,1	13,5
5	665	15,6	16,0	17,0	15,9	12,8	13,4	12,1	13,1
6	665	15,4	15,7	16,6	15,4	12,4	12,9	11,8	12,6
7	665	15,4	15,8	16,6	15,6	12,6	13,1	12,0	12,4
8	665	15,1	15,4	16,3	15,3	12,0	12,6	11,3	12,3
9	4000	15,3	15,7	16,3	15,3	12,1	12,4	11,3	12,2
10	4000	14,8	16,2	15,8	16,0	5,0	5,9	5,1	5,3
11	665	16,0	16,8	17,2	16,4	13,8	14,3	13,6	13,7
12	665	16,2	16,8	17,1	16,1	13,8	14,1	13,6	13,6
13	665	16,7	17,0	17,7	17,2	14,1	14,2	13,7	13,6

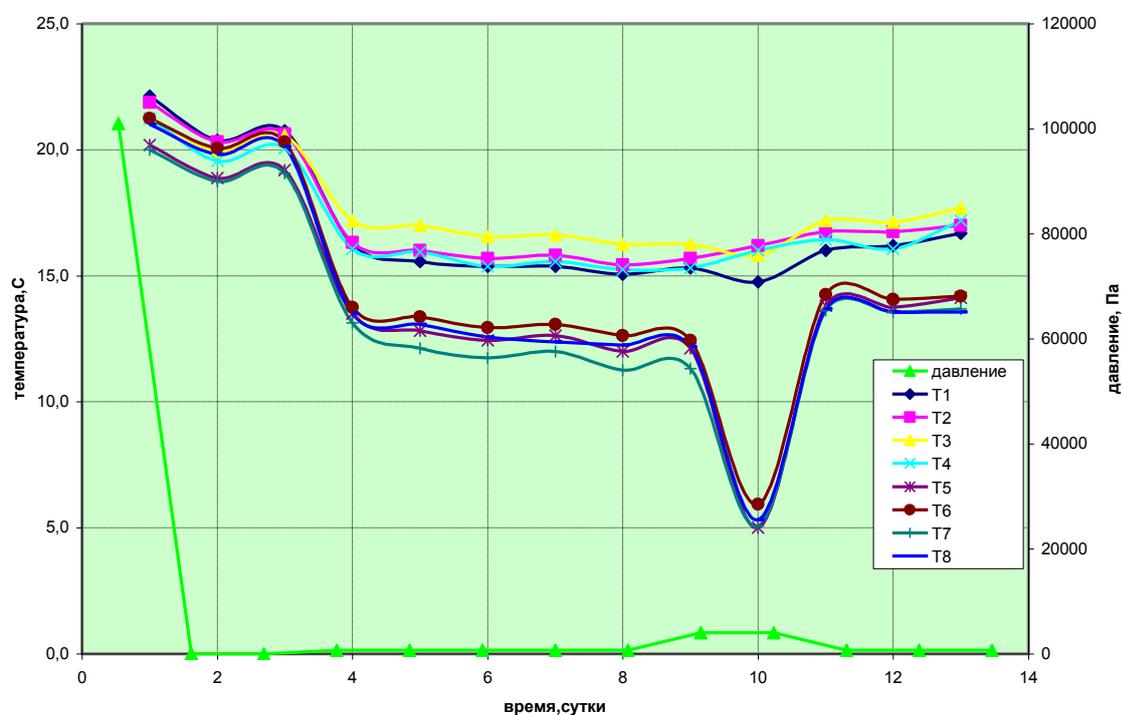


Рис. 3. зависимость температуры стенки термовакuumной камеры от давления в рабочем объеме.

Представленные в данной статье результаты показали, что проведение тепловакuumных испытаний при более высоком давлении в "обычной" термовакuumной камере возможно.

Перед проведением испытаний были опасения, что температура стенки вакуумной камеры опустится ниже значений, при которых конструкция станет неработоспособной. То есть могут выйти из строя некоторые элементы конструкции.

Показано, что за счёт увеличения конвективного теплообмена между азотными экранами и стенкой вакуумной камеры происходит понижение её температуры. С возрастанием давления температура стенки понижается. При давлении 665 Па температура стенки находится в пределах от 10 до 15 °С, при повышении давления до 4000 Па температура стенки достигает 5 °С. При повышении давления наблюдается увеличение разницы температуры верхней и нижней части вакуумной камеры, причём понижение температуры нижней части вакуумной камеры больше.

Проведённые работы показали, что понижение температуры стенки вакуумной камеры не достигает значений  $-50^{\circ}\text{C}$ , при которых возможен выход из строя элементов конструкции, то есть выбранная методика испытаний оправдана.

#### Литература

1. Вакуумная техника: справочник/ К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др.; под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2009. 590 с., ил.
2. Н.Б.Варгафтик. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М., 1972г. 720 стр. с илл.

## **Технологические аспекты проведения ремонтно-восстановительных работ криогенных резервуаров типа РЦГ-250/0,6, установленных на объектах космической инфраструктуры России**

*Е.В.Жировов, В.А.Кобзев, О.Е.Чубаров, А.М.Зверев, Ф.А.Феимов*  
Москва, АО «Криогенмонтаж», Староваганьковский пер., дом 23 стр.1  
E-mail: [www.cryomont.ru](http://www.cryomont.ru)

*Степень герметичности криогенных резервуаров и внутренних магистралей криогенного оборудования является одним из основных показателей, определяющих эксплуатационную надежность конструкций. В статье изложен технологический процесс и технологические операции и последовательность их проведения при производстве ремонтно-восстановительных и испытательных работ на резервуаре РЦГ-250/0,6, приведен перечень средств контроля качества выполненных работы создания и поддержания вакуума на уровне  $6,65 \cdot 10^{-2} - 10^{-3} \text{ Па}$  в теплоизоляционной полости (ТИП) резервуара.*

*Technological aspects of repair and restoration works of cryogenic tanks of the RTG-250/0.6 type installed on objects of the Russian space infrastructure. E.V.Zhirovov, V.A.Kobzev, O.E. Chubarov, A.M.Zverev, F.A.Feimov . The degree of tightness of cryogenic tanks and internal pipelines of cryogenic equipment are the main indicators that determine the operational reliability of structures. The article describes the technological process and technological operations and the sequence of their implementation in repair and restoration and testing works on the tank rtsg-250/0, 6. A list of tools for quality control of work performed and the creation and maintenance of vacuum at the level of  $6,65 \cdot 10^{-2} - 10^{-3} \text{ Pa}$  in the thermal insulation cavity (type) of the tank is given.*

Криогенный резервуар РЦГ-250/0,6 предназначен для приема, длительного хранения и выдачи криогенных продуктов. Резервуар (рис.1) представляет собой горизонтальный двустенный, цилиндрический аппарат и состоит из сосуда внутреннего, внешнего защитного кожуха, опорной системы и трубопроводов обвязки. Сосуд внутренний, в котором хранится криогенный продукт изготовлен из нержавеющей стали аустенитного класса. Кожух изготовлен из стали 09Г2С.

Теплоизоляция внутреннего сосуда и трубопроводов обвязки слоисто-вакуумная. Для обеспечения ресурса работы системы и эффективности применяемой слоистой вакуумной тепловой изоляции (СВТИ) в режиме хранения в теплоизоляционной полости (ТИП) резервуара поддерживается остаточное давление на уровне  $6,65 \cdot 10^{-2} - 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$  с помощью криоадсорбционного устройства с угольным адсорбентом, размещенного на наружной поверхности внутреннего сосуда. Для удаления водорода из ТИП резервуара, работающего при температуре криогенного продукта 78 К и выше на кожухе резервуара установлен патрон с химическим поглотителем водорода.