

## Опыт создания криотермовакuumных установок и имитационных комплексов для тепловакуумной отработки и испытаний аэрокосмической техники

*В.Г.Самоделов, А.К.Дедков, Г.Н. Левдик, Г.Ю. Цфасман, Е.В.Чубаров*  
ООО «Криомаш-БЗКМ», г. Балашиха, Московская обл., пр. Ленина вл.65 стр.1.  
E-mail: [info@criobzkm.ru](mailto:info@criobzkm.ru)

*В статье приведены данные о криотермовакuumных установках (КТВУ) и имитационных комплексах, используемых при отработке изделий авиационной и космической техники. В зависимости от назначения они разделены на группы, приведены их основные характеристики и требования к конструкции и материалам, применяемым для их производства.*

*Cryo-thermovacuum installations and simulation systems for thermal and vacuum testing and aerospace technology testing. V.G.Samodelov, A.K. Dedkov, G.N. Ledvik, G.U. Tsfasman, E.V. Chubarov. The article presents the data on the developed cryothermovacuum installations (KTVU) and simulation installations used in testing the products of aviation and space technology. According to the purpose they are divided into groups, their main characteristics, design requirements, materials used for their production are given.*

ООО «Криомаш-БЗКМ» в кооперации с научными и производственными организациями создаёт для научно – исследовательских и испытательных центров России криотермовакuumные установки и испытательные комплексы для тепло- вакуумной отработки и испытаний аэрокосмической техники. КТВУ и испытательные комплексы позволяют осуществлять наземную экспериментальную отработку и испытания КА (космических аппаратов) их систем и элементов и определять их теплофизические характеристики, как-то:

- холодопроизводительность радиационных поверхностей;
- тепловые потери;
- время вывода на рабочий тепловой режим;
- время сохранения и поддержания рабочего теплового режима при нарушении работоспособности системы терморегулирования.

При отработке КА исследуется способность системы терморегулирования, поддержания аппаратом заданного теплового режима, проведения исследований по определению динамики натекания, степени герметичности и уровня газовыделения элементов конструкций КА, возникающих при изменении освещенности в условиях глубокого разрежения и значительного перепада температур. При этом определяется не только качество сварных и разъёмных соединений, но и пригодность материалов, из которых изготовлен аппарат.

Основу испытательных комплексов составляют вакуумные камеры с автономными встроенными или выносными безмасляными системами откачки и системами азотообеспечения криогенных экранов. имитирующих «черный» космос, автоматизированными системами контроля и управления. В процессе испытаний контролируется герметичность, измеряется вакуум, температура и другие параметры КА.

Каждый тип испытательного комплекса является уникальным, с присущими только ему основными конструкторскими решениями, что объясняется спецификой проводимых в нём экспериментов, особенностями испытываемых объектов и технологических процессов. Габариты вакуумных камер определяют исходя из размеров космического аппарата. В зависимости от назначения КТВУ и имитационные комплексы целесообразно разделить на группы.

1. Комплексы тепловакуумных испытаний и отработки космических аппаратов, систем и их агрегатов в условиях высокого вакуума и в диапазоне температур 500-77К.

К этой группе относятся установки:

- КВИ – камера вертикальная, вместимостью 8500 м<sup>3</sup> и рабочим давлением 10<sup>-3</sup>Па, предназначена для натуральных полномасштабных испытаний космических кораблей и

аппаратов. КВИ позволяет одновременно испытывать изделие на герметичность и исследовать процессы теплообмена космического корабля, а также функционирования его различных систем (жизнеобеспечения, энергопитания и т.п.) в условиях космоса. Камера имеет стерильную систему вакуумирования с быстротой откачки по азоту порядка  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ , достигаемой при помощи встроенных криопанелей, охлаждаемых гелием до температуры  $10 \dots 20 \text{ К}$ . Для откачки в диапазоне давлений от  $100$  до  $10^{-1} \text{ Па}$  используется 2 криoadсорбционных насоса с суммарной быстротой откачки  $200 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

- - ГВУ- 600, вместимостью  $1000 \text{ м}^3$ , система откачки обеспечивает предельное давление  $10^{-4} \text{ Па}$ ;
- 11Г 335, вместимостью  $650 \text{ м}^3$ , предельное давление  $10^{-3} \text{ Па}$ ;
- КВУ-90 вместимостью  $90 \text{ м}^3$ . Система откачки с гелиевыми крионасосами обеспечивает быстроту действия  $100 \text{ м}^3/\text{с}$  при давлении  $10^{-4} \text{ Па}$ ;
- Установка HoustonA NASA- MSFC – крупнейшая в мире, имитирующая космическое пространство, высота камеры  $40 \text{ м}$ , диаметр  $22 \text{ м}$ , объем  $15000 \text{ м}^3$ , быстрота откачки крионасоса  $S = 7 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$  (по азоту). На ней проводились исследования лунников по программе «Аполлон». В камере имитировалось Солнце и вращающаяся модель Луны. Их температуры варьировались от  $90$  до  $400 \text{ К}$ . Криоперехваты охлаждаются гелиевыми рефрижераторами холодопроизводительностью  $7 \text{ кВт}$  при температуре  $13 \text{ К}$ , рабочее давление  $10^{-3} \text{ Па}$ .

## 2. Криогенно-вакуумные установки для научных целей.

Установки предназначены для исследования механических, теплофизических и оптических свойств металлов и материалов, возникновения зарядов на поверхности в установках сверхвысокого вакуума ( $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$ ), проведения фундаментальных исследований в области физики плазмы и строения материала в условиях сверхвысокого вакуума ( $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-8} \text{ Па}$ ) и сверхнизких температур (до  $4 \text{ К}$ ). На установках исследуется влияние солнечной радиации на тепловой баланс спутников. По результатам исследований рассчитывается температурное распределение в спутниках для различных положений на орбите.

К этой группе установок в частности относятся следующие:

- Вакуумная установка ВУ-170/3,8-06 для проведения фундаментальных исследований процессов взаимодействия электромагнитных волн с холодной плазмой в условиях безмасляного высокого вакуума
- Сверхвысоковакуумная установка ВВУ-3, для проведения научных исследований по широкому кругу вопросов космического материаловедения, сухого трения, адсорбционно-десорбционного взаимодействия, испарения и акклюзии и других физико-химических процессов на твердой поверхности, а также отработки приборов и агрегатов КА в условиях космического пространства. В этой установке достигнут вакуум  $1 \cdot 10^{-8} \text{ Па}$  в объеме  $3 \text{ м}^3$ , быстрота откачки встроенного крионасоса составляет  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ .
- Вакуумная установка ВУ-400Г/3,8-0,6 предназначена для физических исследований воздействия «жестких» космических излучений на различные металлические и неметаллические материалы, используемые в конструкциях объектов
- Установка КТВУ – 100Г/3,8-0,7 предназначена для исследования и отработки научных приборов и агрегатов. Конструкция камеры позволяет в ходе работ с минимальной перенастройкой расширить программу исследований. Для этих целей в ней предусмотрены дополнительные патрубки «гелиевое пятно», устройство для улавливания ионов и т. п. Камера представляет собой горизонтальный цилиндр диаметром  $3,8 \text{ м}$  длиной  $13 \text{ м}$  с быстросъемной крышкой. К задней крышке через затвор ДУ-900 пристыкована форкамера, в которой размещена аппаратура для физических исследований. Внутренняя поверхность камеры закрыта оптически непроницаемыми криогенными панелями, имитирующими «холодное и черное» окружение. Предельный вакуум в камере при проведении исследований  $1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$  обеспечивается с помощью 2-х криoadсорбционных, 4-х турбомолекулярных и встроенного криоконденсационного насосов. Установка оснащена системами азото- и гелиеснабжения, которые обеспечивают криостатирование азотных экранов и крионасоса на уровне  $100,15$  и  $4,5 \text{ К}$ . Управление установкой – дистанционное,

предусмотрен автоматический режим управления. Установка эксплуатируется в Институте космических исследований (г. Москва)

### 3. Специальные установки

В эту группу установок входят: установки ВУ-550, КВУ – 100Г/3,8-0,5, камера КС-5406. Тренажеры ВУТ-50, ПБК-70, СБК-72, ТРБК-73.

Установка ВУ-550 предназначена для комплексных исследований и длительных испытаний систем натуральных космических аппаратов СОЖ, средств спасения экипажей, систем шлюзования и выхода человека в открытый космос для предполетной подготовки и тренировки экипажа КА в условиях окружающего вакуума.

Установка ВУ-550 состоит из двух камер – вертикальной и горизонтальной. Горизонтальная камера диаметром 5 м и длиной 24 м соединена с торцевой камерой высотой 11 м, что позволяет испытать горизонтальные объекты диаметром 4,5 м, длиной 24 м и массой до 35 т, а также вертикальные объекты диаметром 4,5 м, высотой 10 м и массой 15 т. Отдельно стоящая вертикальная камера диаметром 5 м и высотой 7 м обеспечивает испытание изделий в вакууме при температурном диапазоне от 200 до 500 К. Установка комплектуется системами: азотных экранов с азотоснабжением, вакуумирования камер и систем КА, аварийной разгерметизации, шлюзами, системой управления и контроля.

Вакуумные камеры – тренажеры предназначены для проведения предполетной подготовки и тренировки экипажей КА и летного состава ВВС и ГВФ в целях определения пригодности к полетам, а также для исследования аварийных ситуаций при мгновенной разгерметизации кабины.

В эту группу установок входят камеры для тренировки летного состава ПБК-70, СБК-72, ТРБК-73. Последние предназначены для работы в полевых стационарных условиях при высотной подготовке экипажей. Максимальная техническая высота подъема – 34 км.

Упомянутые криотермовакuumные установки и имитационные комплексы, анализ задач, решаемых при комплексной термовакuumной обработке, исследования процессов теплообмена и функционирования различных систем космического корабля позволили сформулировать обобщенные технические характеристики и требования к конструкциям камер [1] и применяемым материалам для их изготовления [2,3,4], и приведены ниже в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Значения оптических коэффициентов.

Материал	Метод обработки	Оптические коэффициенты при T=300 К, не более	
		Полусферическая интегральная степень черноты поверхности «Е»	Полусферический интегральный коэффициент поглощения поверхности в спектре излучения Солнца «As»
Сталь марки 12Х18Н10Т	Электрополирование	0,25	0,35
	Механическое полирование	0,3	0,45
Алюминиевые сплавы	Химическое полирование	0,1	0,2
	Механическое полирование	0,15	0,3

Таблица 2. Основные технические характеристики испытательных камер и требования к материалам, применяемым для их изготовления.

Назначение камеры	Основные характеристики		Соотношение газовых нагрузок от объекта ( $Q_{об}$ ) и от поверхностей, обращенных в вакуумную полость ( $Q_n$ )	Марка стали	Требования к поверхностям материалов, обращенных в вакуумную полость			
	Рабочее давление (мм рт. ст.)	Вместимость камеры, м <sup>3</sup>			Поверхности	Сварного шва	Остаточное содержание масла на поверхности, мг/м <sup>2</sup> , не более	
<b>Комплексы тепловакуумных испытаний и отработки космических аппаратов, систем и их агрегатов</b>								
Камера для проведения экспериментальной тепловакуумной отработки и испытаний на герметичность космических аппаратов, их систем и элементов	6,65·10 <sup>-3</sup> - 1,33·10 <sup>-4</sup> (5·10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-6</sup> )	До 1000	$Q_{об} \leq 5 Q_n$ $Q_{об} > 5 Q_n$	12X18H10T M36 ГОСТ 7350, 12X18H10T M36 ТУ108-930	3,2	12,5	200	
		Свыше 1000	$Q_{об} < 2 Q_n$ $Q_{об} \geq 2 Q_n$		6,3			3,2
<b>Криогенно-вакуумные установки для научных целей</b>								
Камера для изучения поверхностных свойств материалов и коэффициентов трения в вакууме	1,33·10 <sup>-6</sup> - 1,33·10 <sup>-10</sup> (1·10 <sup>-8</sup> - 1·10 <sup>-12</sup> )	До 1	$Q_{об} \leq Q_n$	12X18H10T M2a ГОСТ 5582	0,4			6,3
			$Q_{об} > Q_n$			200		
Камера для испытания космического аппарата на механическую прочность и вибрацию	1,33·10 <sup>-3</sup> - 13,3 (10 <sup>-1</sup> ·10 <sup>-1</sup> )	Не ограничена	Не ограничено	12X18H10T M36 ГОСТ 7350, 12X18H10T M36 ТУ108-930	12,5	12,5	500	
							Не ограничена	500
<b>Специальные установки</b>								
Камера для предполетной подготовки и тренировки экипажей КА и летного состава авиации	1,33·10 <sup>-5</sup> - 1,33·10 <sup>-3</sup> (1·10 <sup>-3</sup> - 10)	Не ограничена	Не ограничено	12X18H10T M36 ГОСТ 7350, 12X18H10T M36 ТУ108-930	12,5	12,5	500	
							Не ограничена	500
Камера для комплексных исследований и длительных испытаний натурных аппаратов СОЖ, средств спасения экипажей, систем шлюзования	1,33·10 <sup>-3</sup> - 1,33·10 <sup>-1</sup> (1·10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>-3</sup> )	Не ограничена	Не ограничено	12X18H10T M36 ГОСТ 7350, 12X18H10T M36 ТУ108-930	6,3	12,5	500	
							Не ограничена	500

Заключение:

ООО «Криомаш-БЗКМ» располагает собственной современной производственной базой и мощным научно-техническим потенциалом, позволяющим создавать криотермовакuumные установки и комплексы различного назначения для имитации космического пространства. Разработанные и изготовленные на его базе КТВУ и комплексы отличаются высокими эксплуатационными параметрами и надежностью.

Литература

1. Влияние деформационного упрочнения поверхности нержавеющей стали 12X18H10T на скорость газовой выделености / В.Г. Самоделов [и др.] /Вакуумная техника, материалы и технология. Материалы XI Международной научно-технической конференции, - Москва, 2016 г. С. 17-20.
2. Технология локальных низкотемпературных испытаний на герметичность сварных соединений криогенных трубопроводов / В.Г. Самоделов [и др.] / Вакуумная техника и технология, том 26 №1, 2016 г, с 1-10.
3. Влияние методов обезжиривания поверхности конструкционных материалов на газовой выделености в вакууме / В.Г. Самоделов [и др.] / Вакуумная техника, материалы и технология. Материалы XII Международной научно-технической конференции, - Москва, 2017 г.
4. СТО БЗКМ-052-2016 «Система стандартов безопасности труда. оборудование криогенное. общие требования безопасности к конструкции».

## **Повышение чувствительности масс-спектрометрического метода течеисскания способом «щупа»**

*Е.В. Жировов, В.А. Кобзев, О.Е. Чубаров, \*А.В. Ципун*

*ЗАО «Криогенмонтаж» Россия, 119019, г. Москва, Староваганьковский пер., д. 23, стр. 1*

*\*МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1*

*В статье представлены результаты экспериментальных исследований методов повышения чувствительности испытаний и оценки локальной негерметичности способом «щупа». Исследования проводились на установке, укомплектованной масс-спектрометрическим течеискателем, криоадсорбционным насосом с сферическим модулем, капиллярным шлангом, щупом и газовой завесой, манометрическим преобразователем.*

*Increasing of the leak detection mass-spectral sensitivity by means of probe. E.V.Zhirovov, V.A.Kobzev, O.L.Chubarov, A.V.Tsipun. The article presents the results of experimental studies of methods to increase the sensitivity of tests and the local leakage assessment of the "probe" method. The studies are conducted at the facility equipped by a mass spectrometer leak detector, a cryosorption pump with a spherical module, a capillary tubing, a probe, a gas veil and a gauge transducer.*

### **Введение**

Проблема оценки суммарной негерметичности изделий решена достаточно успешно (чувствительности испытаний достигает  $1,33 \cdot 10^{-10}$  Па·м<sup>3</sup>/с), однако оценка локальной негерметичности остается невысокой. Так, в изделиях, работающих под избыточным давлением, утечки через микронеплотности, фиксируемые щупом-натекателем (способом «щупа») не превышают  $6,65 \cdot 10^{-8}$  Па·м<sup>3</sup>/с). Щуп-натекатель представляет собой «искусственную течь», которая калибруется на определенную величину пропускной способности, либо выполняется регулируемой, путем изменения величины проходного сечения.