

**СЕКЦИЯ 5. ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС.
ВАКУУМНО-ЛЕВИТАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ**

**Выбор оптимальной формы рабочего объёма термовакуумной
камеры для проведения тепловакуумных испытаний
космических аппаратов**

А.Ю. Кочетков
г. Химки АО «НПО им. С.А. Лавочкина»
e-mail: kochetkov@laspace.ru

В работе рассматривается вопрос в выборе наиболее оптимальной конфигурации рабочего объёма термовакуумной камеры для тепловакуумных испытаний космических аппаратов.

The optimal form of thermovacuum chamber operating volume for thermovacuum tests of space apparatus. A.Y.Kochetkov. The paper deals with the choice of optimal form of thermovacuum chamber volume for thermovacuum tests of space apparatus.

Испытания космических аппаратов в термовакуумной камере проводятся с целью подтверждения правильности выбранных проектных решений по тепловому режиму, а также качества сборки.

Современные космические аппараты выполнены с негерметичным приборным контейнером. Средства обеспечения теплового режима, при такой компоновке имеют в своём составе тепловые трубы. Тепловая труба, теплопередающее устройство, на работу которого гравитация оказывает существенное влияние. В зависимости от положения, в поле гравитации Земли тепловые трубы могут работать нормально, либо работают в режиме термосифона, либо не работают. Соответственно, одной из задач, решаемых при термовакуумных испытаниях, является задача оптимального расположения испытываемого космического аппарата в термовакуумной камере относительно поля тяжести Земли. Космический аппарат должен быть расположен таким образом, чтобы максимально приблизить работу тепловых труб к натурным условиям эксплуатации.

Термовакуумные камеры больших объёмов, в которых возможно проведение тепловакуумных испытаний являются сложными и дорогостоящими инженерными объектами, поэтому необходимо создавать универсальные испытательные стенды, позволяющие проводить испытания как разработанных так и перспективных космических аппаратов.

Как правило, компоновка космического аппарата требует размещения относительно поля тяжести Земли либо вертикально (наибольший габарит высота), либо горизонтально (наибольший габарит длина). Также на габариты влияют различные выносные конструкции: солнечные батареи, антенны, фермы с приборами и оборудованием. Габариты рабочего объёма термовакуумной камеры должны предусматривать испытания космических аппаратов целиком.

Рассмотрим конфигурации рабочих объёмов термовакуумной камеры в виде цилиндра, куба, параллелепипеда и шара.

Примем за максимальный характерный размер космических аппаратов равным 6 метров. Тогда характерный размер рабочего объёма вакуумной камеры должен составлять не менее 10 метров, так как минимальное расстояние от объекта испытаний до внутрикамерного оборудования должно составлять не менее 2 метров, для исключения влияния стенда на работу объекта испытаний. Возможные варианты формы термовакуумной камеры представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Конфигурация рабочего объема	Характерный размер, м	Рабочий объем, м ³
Цилиндр	∅ 10	785
Куб	∅ 10 × Н 10	1000
Параллелепипед	8 × 10 × 12	960
Шар	∅ 10	524

Из таблицы видно, что куб и параллелепипед при одинаковых характерных размерах дают больший объем. На первый взгляд, более оптимальными являются шар и цилиндр по сравнению с кубом и параллелепипедом, так как при одинаковых характерных размерах, имеют меньший объем. Также шар и цилиндр имеют предпочтение с точки зрения прочности и жесткости конструкции, а также весовых характеристик. Существенным недостатком кубической формы вакуумной камеры, который оказывает влияние на принятие решения о её постройке, является необходимость усиления стенки вакуумной камеры. Это приводит к удорожанию и утяжелению конструкции. Производительность откачной системы вакуумной камеры зависит в первую очередь от величины натекания и требуемого вакуума. Меньший рабочий объем позволяет уменьшить производительность откачной системы, но не существенно, так как натекание в первую очередь связано с негерметичностью фланцевых соединений, и слабо зависит от площади стенки вакуумной камеры. Сокращение стоимости откачной системы также практически не сказывается на общей стоимости вакуумной камеры, так как стоимость вакуумных насосов имеет небольшой вес в стоимости всего стенда.

Основным критерием при выборе конфигурации рабочего объема вакуумной камеры является форма объекта испытаний. Имеющиеся сегодня вакуумные камеры имеют форму вертикального или горизонтального цилиндра. Эта геометрия повторяет геометрию первых космических аппаратов имеющих герметичный приборный контейнер. Так как термостабилизация таких космических аппаратов основана на циркуляции газа, то положение аппарата при испытаниях не играет особой роли. Как было сказано выше, целевая задача создания термовакуумной камеры - проверка проектных решений и качества сборки при условиях максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации. При проектировании испытательного стенда нового поколения необходимо учитывать форму создаваемых сегодня и перспективных космических аппаратов. При проектировании аппаратов нового поколения разработчики не ограничены пределами герметичного приборного контейнера и могут выбирать компоновку исходя из наиболее рационального размещения аппаратуры. Проектируемые сегодня и перспективные космические аппараты имеют различные формы. Чаще всего это параллелепипед и куб. Все космические аппараты оснащены оборудованием, расположенным на выносных конструкциях, которые сложены в походном положении под обтекателем и раскрываются по после выведения на орбиту, к ним относятся: солнечные батареи, антенны, и другие. Отдельно стоят раскрывающиеся конструкции космических аппаратов, предназначенных для работы на поверхности других планет и Луны, такие как посадочные устройства, трапы, манипуляторы, грунтозаборные устройства.

Существующие цилиндрические вакуумные камеры не позволяют испытывать космические аппараты, имеющие перечисленные механизмы, из-за недостаточного рабочего объема.

Основной проблемой испытаний космических аппаратов сложной формы в термовакуумной камере является моделирование излучения Солнца. Световое пятно в таких вакуумных камерах вводится сбоку, при этом исключается подача светового пятна сверху и снизу космического аппарата, без дополнительных оптических элементов. В кубической вакуумной камере есть свободные объемы для размещения этих элементов, в цилиндрической камере такая возможность отсутствует.

Имитатор Солнца является наиболее сложной и важной системой термовакуумной камеры. В нашей стране имеется всего несколько установок, оснащенных данной системой. В цилиндрической термовакуумной камере, при работе имитатора Солнца происходит переотражение теплового потока от поверхности изделия и азотных экранов на теневые участки объекта испытаний. Схема переотражения представлена на рисунке 1. Более подробно данный вопрос рассмотрен в работе [3]. При степени черноты азотных экранов $\varepsilon = 0,95$

величина переотражённого теплового потока может достигать 5 %. Это вносит довольно значительный вклад в погрешность эксперимента. В кубической термовакуумной камере переотраженный от азотных экранов тепловой поток не попадает не на теневые участки испытуемого изделия, а на другие участки азотного экрана (рис. 1), где окончательно поглощается. Таким образом, азотные экраны формы куба более точно воспроизводят внешние тепловые воздействия.

В кубической вакуумной камере можно разместить дополнительное оборудование, так как имеются "слепые" зоны, в которые не попадает тепловое излучение от имитатора Солнца. В этих зонах удобно разместить приборы для видео и инфракрасной съёмки испытуемого изделия, а также аппаратуру контроля геометрических параметров при тепловых нагрузках.

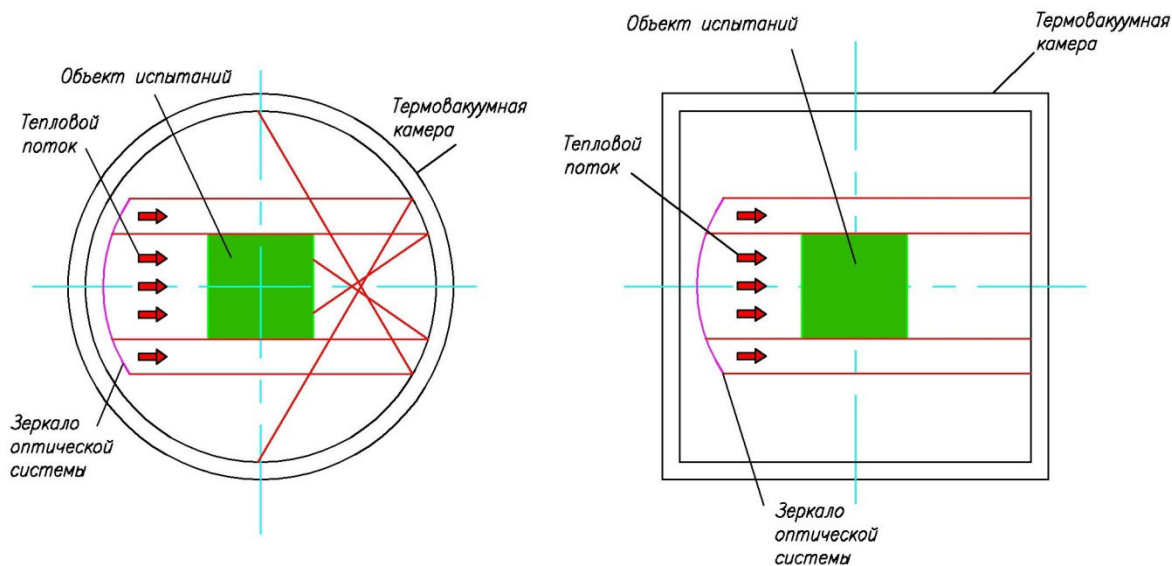


Рис. 1. Переизлучение теплового потока в цилиндрической и кубической термовакуумных камерах.

Рассмотренные в работе варианты корпуса термовакуумной камеры однозначно показывают, что выбор вакуумной камеры в виде куба оптимален с точки зрения испытаний в ней космических аппаратов с негерметичным приборным контейнером, с другой стороны цилиндрическая термовакуумная камера дешевле и проще в изготовлении, при этом результаты испытаний в ней имеют большие погрешности. С точки надёжности получаемых результатов кубическая термовакуумная камера имеет предпочтение.

Литература

1. О.Н. Фаворский, Я.С. Каданер. Вопросы теплообмена в космосе. Высшая школа, М, 1972.
2. У. Фрост. Теплопередача при низких температурах. Мир, М, 1977.
3. А.А. Филатов, С.Б. Нестеров. Применение метода трассировки лучей при моделировании тепловакуумных испытаний космического аппарата с использованием имитатора солнечного излучения. Материалы конференции "Вакуумная техника, материалы и технология" М. 2017.