

Термовакuumные камеры «Универсал Прибор» для моделирования условий среды холодного космического пространства



Для отработки характеристик космических аппаратов и их элементов применяются специальные испытательные камеры. В статье рассказывается о работе, которую провели инженеры компании «Универсал Прибор», создавая термовакuumную камеру небольшого объема для длительных непрерывных испытаний приборов и космических аппаратов. Для того чтобы камера могла выдерживать пиковые значения температур, дегазацию материалов, из которых изготовлено оборудование, создавать термоциклы в вакууме, имитируя работу на орбите Земли, разработчикам пришлось искать нестандартные решения.

ООО НПП «Универсал Прибор», г. Санкт-Петербург

Освоение космоса, которое началось в середине XX века, поставило перед учеными задачу: разработать аппараты, материалы, оборудование, способные надежно функционировать в космическом пространстве. Между тем, даже досконально изучив свойства материалов или приборов, невозможно полностью предугадать их поведение в условиях космоса с его экстремальными температурами, солнечным и планетарным излучением, «чернотой» и «холодом» за пределами углов солнечного и планетарного излучений, а также в условиях транспортировки аппаратов до орбиты Земли. Поэтому закономерным решением стало создание специальных испытательных камер, в которых имитируются нагрузки, теоретически характерные для тех условий, в которых будет функционировать космический аппарат: температура, вакуум, излучение и т.д. В таких камерах обязательно тестируются как готовые аппараты целиком, так и их элементы по отдельности. Проводятся и краткосрочные тесты, позволяющие выявить особенности поведения материалов и приборов, и длительные,

с помощью которых подтверждается возможность эксплуатации приборов, аппаратов и спутников на протяжении времени, необходимого для выполнения всех поставленных задач.

Климатические и термовакuumные камеры для испытания космических аппаратов и их компонентов более десяти лет производит российская компания ООО НПП «Универсал Прибор».

В термовакuumных камерах моделируются условия среды холодного космического пространства. Главным образом, они служат для испытания космических спутников, контроля теплового цикла, а также для испытания компонентов, подсистем и комплектных спутников. Испытания проводятся в полностью контролируемой среде. Благодаря тому, что в термовакuumной камере можно одновременно контролировать давление (вакуум) и температуру, обеспечивается точное воспроизведение состояния пространства. Также в термовакuumных камерах имитируются: тепловой поток, солнечное излучение, тепловое излучение Земли — с помощью электронно-луче-

вых и рентгеновских пушек и другого специального оборудования.

Каждая термовакuumная камера специально конструируется для реализации конкретного проекта, по индивидуальному заказу. Рассмотрим одну из термовакuumных камер ООО НПП «Универсал Прибор», которая была создана для испытаний эксплуатируемого в космосе оборудования (рис. 1).

Термовакuumная камера ТХД

Коллектив предприятия получил задание сконструировать термовакuumную камеру для испытания приборов и составляющих космических аппаратов. Кратко перечислим требования к ней. Камера небольшого объема (около 250 литров) должна обеспечить непрерывные и длительные, вплоть до месяца, испытания на воздействие пиковых значений вакуума и температур. Эти значения должны были достигаться максимально быстро и долго удерживаться с минимальными отклонениями. При этом камера должна была иметь устойчивость к дегазации материалов, из которых изготовлены приборы, выдержи-



Рис. 1. Термовакuumная камера ТХД, разработанная и изготовленная 000 НПП «Универсал Прибор»

вая ее на протяжении долгого времени. Камера должна была имитировать условия работы на орбите Земли: как на солнечной, так и на теневой ее стороне, создавая термоциклы в вакууме. Также в ней надо было имитировать условия постоянной работы на теневой стороне Земли. В дальнейшем это позволит подобрать материалы для приборов с учетом возможности компенсации их тепловыделений за счет окружающей температуры.

Для того чтобы выполнить все эти задачи, потребовались нестандартные решения. Для начала разработчики по согласованию с заказчиком отказались от обычной формы рабочего объема камеры — параллелепипеда. Такой форм-фактор вполне подходит для большинства задач, но в данном случае расчеты показали, что для продолжительных испытаний надо исключить углы. Для своей камеры разработчики выбрали горизонтально расположенный рабочий объем торосферической формы. Этот форм-фактор дает ряд преимуществ при длительных испытаниях в условиях глубокого вакуума и длительного процесса дегазации:

- ▶ стабильность формы при воздействии пониженного атмосферного давления;
- ▶ отсутствие застойных зон;

- ▶ ускоренное достижение пиковых значений глубокого вакуума;
- ▶ улучшенная полная дегазация испытуемого образца, отсутствие оседания на углах рабочего объема;
- ▶ уменьшенная протяженность швов, что важно при длительных испытаниях.

Чтобы осуществить быстрый выход на пиковое значение глубокого вакуума ($5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.), а потом поддерживать его долгое время, разработчики оснастили камеру гораздо более мощными насосами, чем обычно устанавливаются на камеры такого же объема: безмасляным форвакуумным насосом производительностью не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ и безмасляным турбомолекулярным насосом производительностью не менее 2200 л/с N_2 . Для защиты турбомолекулярного насоса его подключили через шиберный затвор. Регулируются значения вакуума установленными на камере натекателями грубого и точного пуска (первый — с ручным приводом).

И тестовый запуск камеры, и ее эксплуатация в дальнейшем подтвердили, что эти решения позволили эффективно достигать пикового значения глубокого вакуума и стабильно его удерживать. При этом запас насосов по мощности дал дополнительное преимущество: срок их службы про-

длевается, потому что они редко работают в полную мощность.

Следующая задача, которую предстояло решить разработчикам, это подбор системы термоциклирования, от которой требовалось надежно и стабильно работать, длительно воспроизводя пиковые температуры в диапазоне от -90 до $+170$ °С. Специалисты компании предложили оснастить камеру компрессорной двухкаскадной системой, которая хорошо показала себя в предыдущих проектах. Но заказчик настаивал на том, что система должна быть относительно независимой, чтобы подвергаться минимальному воздействию со стороны других систем, а также тепловыделений испытуемых образцов, сохраняя стабильную мощность охлаждения и нагрева при высоких значениях.

Следуя этим требованиям, разработчики «Универсал Прибор» выбрали для камеры отдельно стоящий термостат Huber серии Unistat (Германия). Хотя для доставки этого прибора в условиях пандемии и санкционной политики потребовалось преодолеть ряд трудностей, он был успешно доставлен. Термостат Huber Unistat отвечал всем требованиям заказчика, обладал высокой энергоэффективностью, быстрой скоростью нагрева и охлаждения, отличался достаточно легким сопряжением с системой управления камеры. Требуемые показатели температур достигаются с помощью жидкостного охлаждения, посредством подачи синтетического теплоносителя через вакуумные гидроводы на термостол с переходной плитой, установленной в рабочем объеме. Поддерживать оптимальную передачу теплоносителя термостату Huber Unistat позволяют мощные насосы с регулируемым давлением, обеспечивающие оптимальную циркуляцию и снижающие потребление.

Термостат показал себя с наилучшей стороны на пиковых значениях температурного диапазона: -90 и $+170$ °С. При высоких температурах мощность нагрева и охлаждения уменьшается незначительно и не зависит от выделяемого тепла испытуемых приборов и образцов. А надежность оборудования означает гарантированный результат в течение длительных испытаний. Заказчик полностью поддержал это решение, которое совершенно оправдало себя в заданных

условиях. Также по требованию заказчика камера была оснащена тремя фланцами DN250ISO, двумя фланцами KF40 и одним фланцем KF50 для подключения датчиков, фиксирующих различные показатели в ходе проводимых испытаний. На рабочем термостоле были установлены пять термодатчиков: четыре по периметру и один в центре.

Готовую камеру доставили к заказчику, где провели пусконаладочные работы и обучили персонал. Проведение аттестации заняло 15 дней, после чего оборудование было введено в эксплуатацию. Все требования и пожелания заказчика были удовлетворены, а сама камера, по словам заказчика, надежна и проста в работе.

В заключение необходимо отметить, что термовакуумная камера ТХД

дает возможность для расширения функциональности:

- ▶ если установить в смотровом окне вместо стандартного кварцевого стекла германиевое ИК-прозрачное стекло, можно будет с помощью тепловизора анализировать температурный диапазон при проведении испытаний в режиме реального времени;
- ▶ установка в рабочем объеме криогенных экранов и подача жидкого азота со всех сторон испытуемого образца позволят понизить температуры до сверхнизких значений ($-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже);

▶ установка ИК-излучателей, имитирующих солнечную сторону, позволит создать условия, в которых испытуемый образец, с одной стороны, охлаждается за счет окружающей температуры космоса, а с другой — одно-

временно нагревается за счет солнечного тепла;

- ▶ можно установить галогенные лампы для имитации солнечного излучения в требуемых спектральных диапазонах.

И это далеко не все возможности, позволяющие расширить функциональность термовакуумной камеры ТХД производства ООО НПП «Универсал Прибор». Другие опции и функции можно добавить под конкретные задачи.

Д. Аревшатян, руководитель московского подразделения ООО НПП «Универсал Прибор», г. Москва, тел.: +7 (495) 632-0292, e-mail: moscow@pribor.ru, сайт: www.pribor.ru



19-я Международная выставка оборудования и технологий для утилизации отходов и очистки сточных вод

14–16 марта 2023

Москва, ЦВК «Экспоцентр», Павильон №3

Забронируйте стенд

www.wasma.ru

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+7 495 252 11 07
wasma@mvk.ru

Соорганизатор



РОССИЙСКИЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
ОПЕРАТОР

Партнёр



Ассоциация содействия
экономике замкнутого
цикла «Ресурс»