

Замкнутый космос на производстве

«Земные космические программы — не для слабонервных инопланетян»

«Создать условия разрежения и температуры, близкие к космическим, в масштабах лаборатории или научного центра — сегодня выполнимая и технически несложная задача», — утверждают специалисты направления ACS итальянской группы компаний Angelantoni Industrie Spa (европейские лидеры в области разработки и производства испытательного оборудования с 1932 года). Angelantoni является активным разработчиком и поставщиком аэрокосмической индустрии уже более 20 лет, предлагая гражданским и военным заказчикам испытательные системы и комплексы и, в частности, имитаторы космического пространства, которые реализуют два основных воздействующих фактора: давление и температуру.

Артем Иванов

test@ostec-group.ru

Введение

Технология термоциклирования

Сегодня можно выделить ряд основных особенностей камер глубокого вакуума:

- Широкий диапазон полезных объемов камеры: от 350 л (рис. 1) до камер с диаметром бочкообразной конструкции 5,5 м (10⁶ л) (рис. 2).
 - Высокое качество черного покрытия испытательного отсека с минимальным газовыделением материала при температурах более 150 °С в соответствии со ESA стандартом ESCC-Q-ST-70-02C.
 - Специальный дизайн конструкции, способный выдерживать тепловыделение образцов более 5 кВт/м².
 - Особое внимание уделяется разработке интегрированного программного обеспечения для управления, контроля и сбора данных.
 - Каждая управляющая система дублируется и имеет защиту от несанкционированного доступа как на аппаратном, так и на программном уровнях.
- Далее речь пойдет о технических особенностях имитаторов космического пространства для испытаний спутников.



Рис. 1. Термовакуумная камера (350 л)

Технология используется для испытания образцов в диапазоне низких и высоких температур, обычно от –100 до +100 °С, в то время как давление поддерживается на уровне 10⁻⁶ мбар (75×10⁻⁵ мм рт. ст.). Пока спутник подвержен испытаниям термоциклирования, радиочастотные сигналы передаются по стенкам камеры через имеющиеся волноводы. Такие испытания могут длиться до месяца.

Технология термобаланса

Эта технология применяется для подтверждения термоматематических расчетов модели спутника. В течение испытаний воссоздается диапазон низких



Рис. 2. Термовакуумная камера рекордной вместимости НТ400 МС



Рис. 3. Инфракрасные излучатели

температур, близких к тем, что будут «морозить» спутник на орбите (до -180°C). Некоторые детали образца также подвергаются нагреву от источников тепла (лампы или ИК-нагреватели) (рис. 3), что имитирует воздействие солнечных лучей (до $+150^{\circ}\text{C}$). В течение всего времени поддерживается давление 10^{-6} мбар (75×10^{-5} мм рт. ст.).

Используются три метода реализации систем терморегуляции:

1. Система терморегуляции GN2 (газообразный азот):
 - рабочий диапазон: $-170 \dots +150^{\circ}\text{C}$.
2. Система терморегуляции LN2/IR (жидкий азот/ИК-излучение):
 - рабочий диапазон: $-190 \dots +150^{\circ}\text{C}$.
3. Система терморегуляции непрямого воздействия:
 - рабочий диапазон: $-70 \dots +130^{\circ}\text{C}$.

Более того, для достижения различных вариаций диапазонов температуры конструкция камеры позволяет устанавливать системы терморегуляции с полным или частичным заполнением трубопроводов жидким азотом, комбинированные системы жидкого и газообразного азота, а также комбинированные системы с фреоном и азотом.

Конструкция камеры

Это замкнутое изолированное исполнение рабочего объема (рис. 4). Герметичный

корпус испытательного отсека представляет собой цилиндр с усиленными стенками из нержавеющей стали AISI 304L. Гермоводы и технологические отверстия для подключения приборов и клапанов располагаются на корпусе двери. Камера размещается в металлическом каркасе, включая все агрегаты (термоагрегаты, насосы и т. д.). Каркас по всему периметру оборудован вентиляционными отверстиями. Бочкообразный рабочий объем выполнен из двух тонких пластин из нержавеющей стали, которые приварены по технологии TIG (сварка в среде газообразного инертного вольфрама) в соответствии с требованиями Американской ассоциации инженеров-механиков, в целях обеспечения внутреннего пространства в корпусе для циркуляции теплообменной среды. Эта технология позволяет достичь хороших показателей равномерности распределения температуры, так как азот покрывает всю поверхность рабочего отсека.

Бочка состоит из следующих блоков:

- Внешняя оболочка, которая напрямую устанавливается на двери.
- Основная оболочка, которая устанавливается внутри бочки.

Каждый блок соединен с системой кондиционирования. Конструкция предполагает легкий монтаж бочки.

Термооптические характеристики: внутренняя поверхность (рис. 3) рабочего объема

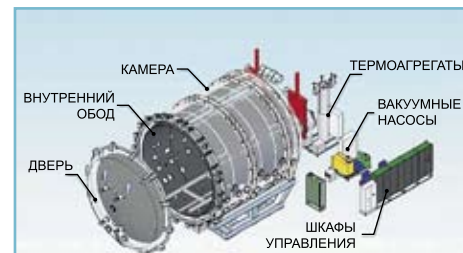


Рис. 4. Конструкция камеры

окрашена в черный цвет так, чтобы коэффициент теплового излучения был выше 0,8 при температуре $21,85^{\circ}\text{C}$.

Конструкция камеры включает в себя дверь-слайдер (рис. 5), которая с внутренней стороны оборудована двумя тонкими пластинами из нержавеющей стали для лучшей терморегуляции. Способ открытия двери — слайдер, что упрощает загрузку и выгрузку образца испытаний и предотвращает возможное повреждение аппаратуры.

Система терморегуляции оболочки камеры

Терморегуляция в рабочем объеме и на плите охлаждения осуществляется системой непрямого воздействия и циркуляцией теплообменной среды (рис. 6), которая подается специальным насосом. Непрямой тип терморегуляции осуществляется циркуляцией специальной текучей среды (Baysilone), подающейся в оболочку бочки посредством насоса с магнитным забором, который выполнен из нержавеющей стали и расположен в механическом отсеке.

Оборудование размещено в закрытой цепи и содержит теплообменники для нагрева и охлаждения жидкостей. Охлаждение осуществляется испарением с отводом сухого пара хладагента. Полугерметичные компрессоры работают в двухкаскадной системе с хладагентами R404A и R23.

Водяной конденсатор реализует конденсацию R404A. Цепь охлаждения оснащена необ-



Рис. 5. Дверь-слайдер с закрепленным спутником

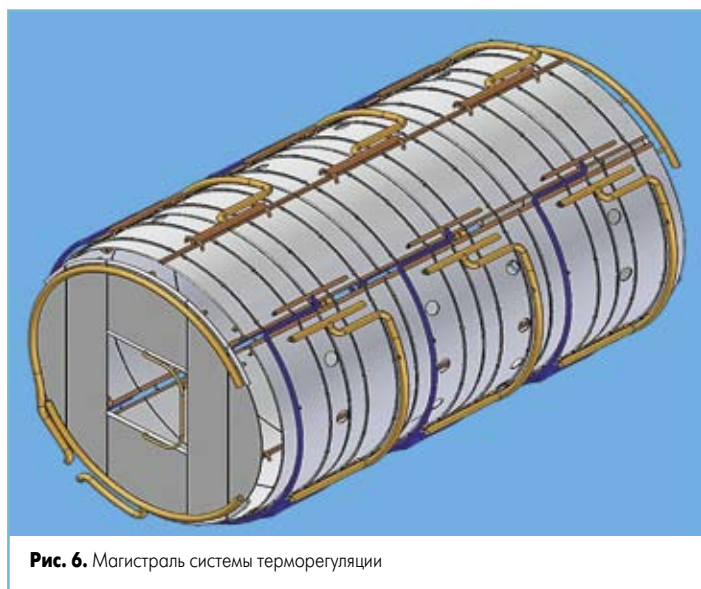


Рис. 6. Магистраль системы терморегуляции

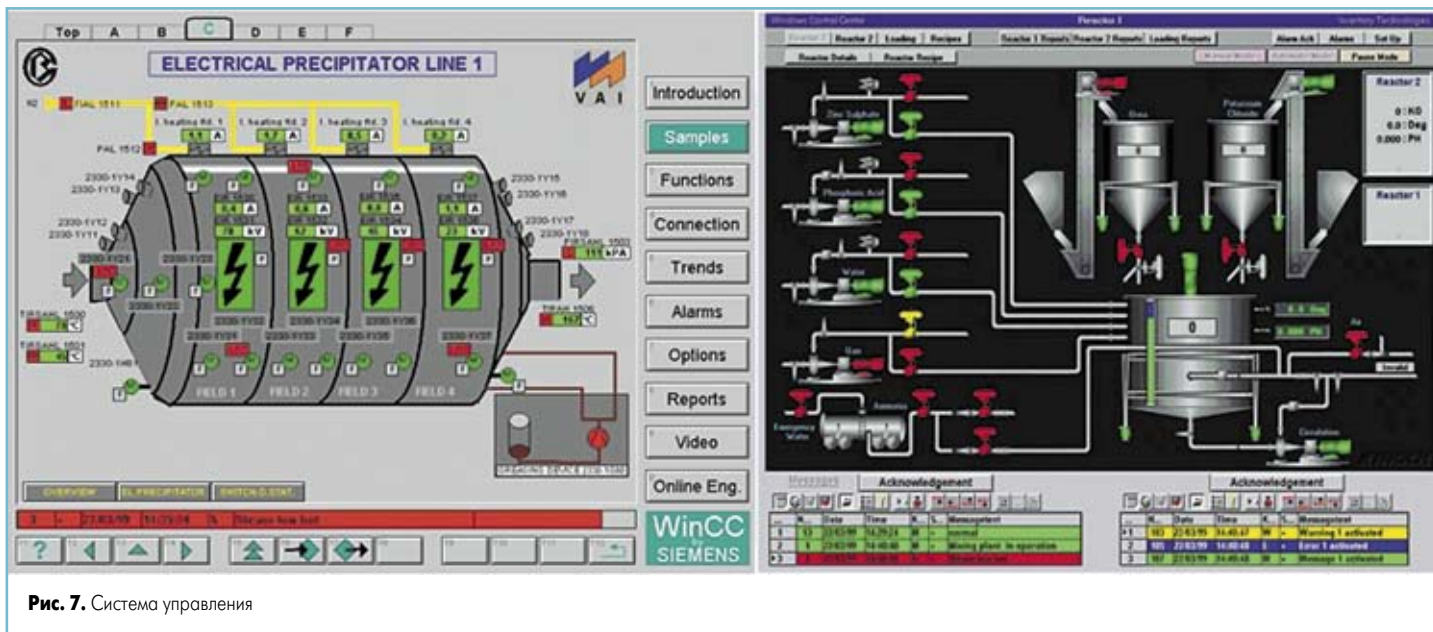


Рис. 7. Система управления

ходимыми переключателями давления и температуры для автоматической регулировки оборудования.

Нагрев жидкого байзилон осуществляется радиатором, в котором расположены погруженные электрические резисторы из нержавеющей стали. Вся система теплообмена управляется ПЛК-контроллером Siemens.

Охлаждение теплообменной среды осуществляется специальным чиллером при испарении, с отводом сухого пара хладагента. Блок охлаждения состоит из двух полугерметичных компрессоров каскадной системы охлаждения. Основной корпус выполнен из чугуна с легко съемными цилиндрами и помповым механизмом из сплава металла.

Безотказность работы системы охлаждения обеспечивается системой автоматической защиты компрессоров от перегрева. Эта система поддерживает саморегуляцию охлаждения компрессоров и не позволяет температуре подняться выше +30 °С.

Компрессоры имеют следующие преимущества:

- Обладают высокой надежностью за счет улучшенной смазки и низкой температуры цилиндров.
- Обтекаемый корпус улучшает газообмен, снижает падение давления, повышает эффективность.
- Многополюсный вход компрессора обеспечивает равномерное охлаждение цилиндров.
- Впускной клапан крепится в головке цилиндра, что обеспечивает длительный срок службы и снижает вибрацию патрубков отвода.
- Новый картер системы вентиляции значительно снижает скорость циркуляции масла.
- Имеются прозрачные смотровые окна для упрощения сервиса и обслуживания.

Вакуумная система, основные блоки системы

Предварительный блок вакуумной системы с экологичным безмасляным насосом

Принцип действия основан на зарекомендовавшей себя технологии поршневого механизма. Насос EcoDry M специально разработан для реализации чистого безмасляного форвакуума. Он обеспечивает:

- Абсолютную чистоту вакуума без масла и гидрокарбонатов. Исключается попадание гидрокарбонатов или обратное течение как во впускном, так и в выпускном каналах.
- Постоянную производительность вакуумных механизмов. Запатентованные клапаны и герметичные затворы имеют такую же динамику скорости откачки, как и масляные центробежные лопастные насосы. Например, для откачки водяных паров многокаскадный газовый балласт является стандартным оборудованием.
- Очень низкое излучение частиц. Насос EcoDry M имеет высокую износостойкость благодаря уникальному покрытию поршней.

- Низкий уровень акустического шума и вибрации. Может быть использован простой глушитель выпускного клапана, если не требуется вытяжной линии для откачанного воздуха или инертных газов. Уровень вибрации снижается за счет запатентованной конструкции и расположения поршней. В особых случаях возможно оснащение встроенным демпфером структурных колебаний.
- Компактную конструкцию, которая позволяет разместить насос EcoDry M там, где используется обычный роторный насос.
- Высокую надежность, достигаемую за счет снижения до минимума изнашиваемых деталей и, вкпе с небольшой скоростью работы, повышение времени работы системы до 20 000 часов.
- Уменьшение стоимости использования, которое достигается за счет отсутствия необходимости охлаждения водопроводной воды, продувочного газа и масла. Насос обладает низким энергопотреблением, прост в обслуживании и не требует особых процедур технического обслуживания.

Блоки криогенных насосов с вакуумным затвором

Криогенный насос служит для газоулавливания в диапазоне давления от 10^{-3} до 10^{-11} мбар. Принцип работы заключается в захвате охлажденной поверхностью газовой среды посредством криоконденсации, криосорбции или криоулавливания. Для создания низкого и сверхнизкого вакуума охлаждающая поверхность (криопанели) должна быть охлаждена до очень низких температур. В зависимости от системы охлаждения используются рефрижераторный крионасос, крионасос с баком или насосы с установкой термовакuumного испарения.

В отличие от высоковакуумных насосов с циркуляцией газа (например, турбомолекулярные насосы, находящиеся в механически взвешенном состоянии) крионасосы не имеют механически движущихся деталей, масла или частей с консистентной смазкой.

Следующие особенности — прямой результат уникальной конструкции:

- вакуум без частиц гидрокарбона в диапазоне давления от 10^{-3} до 10^{-11} мбар;
- устойчивость к механическим колебаниям частиц внутри объема насоса и внешним вибрациям.

Датчики давления с цифровым и аналоговым отсчетом служат для сверки уровня давления, достаточного для открытия/закрытия клапанов.

Система измерения вакуума

Датчик соединяется с компьютером через интерфейс RS-232 и передает все данные о значении давления. Система включает в себя также вакуумметр Пирани и ионизирующую головку.

Встроенная система управления и контроля ICMS

Встроенная система управления и контроля ICMS (Integrated Control & Measurement System) включает в себя:

- ПЛК-контроллер Siemens S7-400 PLC;
- управление и мониторинг состояния камеры (рис. 7);
- управление вакуумными насосами;
- управление температурой на внутренней поверхности камеры;
- управление механическими элементами;
- управление энергопотреблением, расходом воды и системой подачи сжатого воздуха;
- систему сбора данных (диагностических данных) SIEMENS WinCC;
- удаленное управление, подключение к сетям Ethernet, Internet;
- удаленную диагностику и телесервис.

Резюмируя все вышесказанное, можно утверждать, что трудно-реализуемые ранее и очень дорогие испытания продукции в условиях космического пространства сегодня стали частью обязательной и стандартной процедуры как на крупных, так и на средних производствах. Нельзя не принимать во внимание последние случаи отката и «схода с орбиты» российских спутников, поэтому особое внимание необходимо уделять испытаниям такой сложной аппаратуры в максимально реальных условиях.