

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.В. Юхневич

Белорусский государственный университет,
Научно-исследовательский институт физико-химических проблем, Минск

Разработка средств контроля герметичности космических аппаратов (КА) является важной задачей космической техники. Об актуальности создания таких устройств, имеющих высокую чувствительность и пространственную разрешающую способность, а также о том, что такие средства пока отсутствуют, напомнили недавние события на космической станции "Мир", когда произошла разгерметизация модуля "Спектр" в результате столкновения с грузовиком "Прогресс". Негерметичность корпуса была обнаружена по уменьшению показаний датчиков давления газа внутри модуля, которые можно считать весьма несовершенными средствами "внутреннего" контроля герметичности. Попытки экипажа определить положение мест утечки атмосферы путем внутреннего и внешнего визуального осмотра корпуса "Спектра" оказались безуспешными. Другими более эффективными средствами определения местоположения негерметичностей станция "Мир" не была оснащена.

Однако более совершенные средства контроля герметичности КА могут быть созданы уже в настоящее время. По нашему мнению, наиболее перспективным принципом, на основе которого могут функционировать устройства обнаружения и локализации течей, является "внешняя" регистрация утечек при помощи высокочувствительных газовых датчиков (сенсоров), размещенных в вакууме над поверхностью КА. Предлагаемые способы контроля герметичности основаны на том, что траектории молекул газа, разлетающихся в вакуум от места утечки, являются прямыми линиями. У каждого газового сенсора может быть сформирована определенная диаграмма направленности (индикатриса газовой чувствительности) – зависимость выходного электрического сигнала от направления подлета регистрируемых молекул. Компьютерная обработка сигналов от комплекта таких газовых сенсоров, размещенных определенным образом относительно контролируемого КА, позволит определить и интенсивность каждой течи, если их несколько, и их координаты на внешних поверхностях.

На основе данного принципа могут быть созданы высокоэффективные системы внешнего контроля герметичности (СВКГ). Схема такого оборудования показана на рис.1. Могут реализоваться различные методы "газового осмотра" КА. В "статических" СВКГ газовые сенсоры будут размещаться стационарно на выносных штангах над поверхностью контролируемого объекта. В "динамических" системах контроля один или несколько газовых сенсоров будут установлены на подвижных управляемых платформах (на микроспутниках и штанговых манипуляторах, в руках космонавтов).

В качестве газовых сенсоров могут быть использованы любые высокочувствительные детекторы нейтральных молекул, например датчики ионизационных вакууметров, портативные масс-спектрометры. Особо перспективными первичными преобразователями для СВКГ являются полупроводниковые газовые сенсоры (ПГС) – новые газоаналитические приборы, позволяющие в принципе сочетать высокую газовую чувствительность с исключительно малыми габаритами и энергопотреблением.

В НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета совместно с сотрудниками Ракетно-космической корпорации (РКК) "Энергия" имени С.П. Королева (г. Королев, Россия) в течение ряда лет изучалась возможность создания СВКГ на основе ПГС. Были разработаны, изготовлены по микроэлектронной технологии и испытаны

оригинальные миниатюрные газовые сенсоры на основе монокристаллического кремния, предназначенные для диагностики разреженных молекулярных потоков в вакууме [1-4]. На базе этих сенсоров были разработаны и испытаны на вакуумных стендах РКК «Энергия» несколько оригинальных экспериментальных вариантов СВКГ. Наиболее удачные варианты были приняты в штатную эксплуатацию при наземных вакуумных испытаниях отдельных блоков КА, в частности при испытаниях теплотранспортных модулей энергетических установок [5-8]. В ходе этих испытаний была показана эффективность внешнего контроля герметичности. Была продемонстрирована высокая чувствительность и пространственная разрешающая способность новой аппаратуры, недоступные другим средствам измерения.

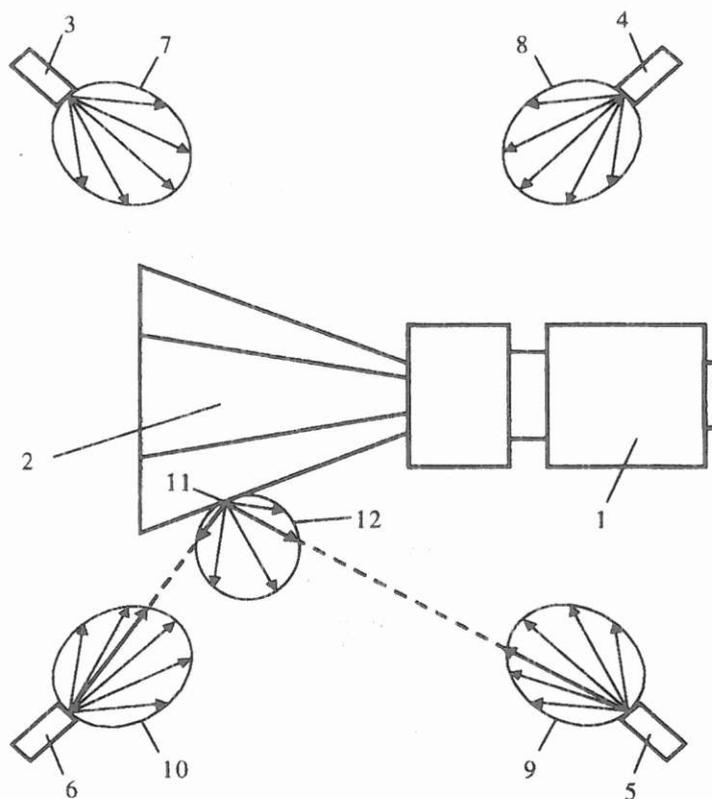


Рис.1. Схема системы внешнего контроля герметичности космического аппарата на основе комплекта полупроводниковых газовых сенсоров: 1 – приборный модуль; 2 – теплотранспортный узел системы охлаждения энергетической установки; 3–6 – газовые сенсоры; 7-10 – полярные диаграммы чувствительности газовых сенсоров; 11 – место негерметичности; 12 – полярная диаграмма скорости молекулярной эмиссии в вакуум

Можно ожидать, что в недалеком будущем СВКГ станут обязательной составной частью бортового оборудования космических аппаратов при выполнении длительных пилотируемых полетов, например межпланетных экспедиций. В условиях автономного многолетнего полета при отсутствии страховки от возникновения случайных нарушений герметичности различной природы (материаловедческих, эксплуатационных, астрономических) наличие таких средств контроля герметичности повысит безопасность работы экипажа и увеличит вероятность успешного выполнения программы полета. Эти средства обеспечат непрерывный чувствительный контроль общего состояния герметичности КЛА, позволят быстро обнаружить возникновение негерметичностей, измерить их интенсивность и скорость возможного развития микронегерметичностей в аварийные течи, определяют их местоположение. Такая информация даст возможность

оперативно оценить степень опасности ситуации и своевременно принять эффективные меры по обеспечению дальнейшей безопасной работы (выключение аварийных и включение резервных блоков, ремонтная герметизация, рациональная корректировка программы полета). Перечисленные достоинства СВКГ определяют эффективность использования такого оборудования также при наземных испытаниях КА на вакуумных стендах.

Аппаратура типа СВКГ может быть использована в космонавтике при решении многих актуальных газоаналитических задач. В частности, она позволит реализовать глобальный молекулярный экологический мониторинг ближнего космоса и верхней атмосферы Земли.

Литература

1. Гришин В.К., Шуваев Л.Е., Юхневич А.В. Диагностика низкоинтенсивных газовых потоков с применением полупроводниковых химических сенсоров // VIII Всесоюз. конф. по динамике разреженных газов. Тез. докл. - Т.2. - М., 1985. - С. 155.
2. Юхневич А.В., Шуваев Л.Е. О механизме функционирования полупроводникового газового сенсора с кремниевым чувствительным элементом // Всесоюзная конференция "Химические сенсоры-89": Тез. докл. - Ленинград, 1989. - С. 196.
3. Юхневич А.В., Шуваев Л.Е. Метрологические особенности функционирования полупроводниковых газовых сенсоров с кремниевыми чувствительными элементами // Вторая всесоюз. конф. по анализу неорганических газов: Тез. докл. - Ленинград, 1990. - С. 149, 150.
4. Юхневич А.В. Некоторые особенности атомной структуры монокристаллов кремния // Избранные научные труды БГУ. - 2001. - Т.5. - С. 89 - 122.
5. Индикация разреженных потоков атомов натрия в вакууме/ Кириченко Г.П., Пасин А.И., Рыбкин Б.И. и др. // Междунар. конф. "Ядерная энергетика в космосе": Тез. докл. - Обнинск, 1990. - С. 179, 180.
6. Юхневич А.В., Шуваев Л.Е., Гришин В.К., Левин М.Н. Полупроводниковые детекторы для контроля герметичности систем охлаждения ЯЗУ космического назначения // Междунар. конф. "Применение полупроводниковых детекторов в ядерно-физических задачах": Тез. докл. - Юрмала, 1995. - С. 110.
7. Юхневич А.В., Кузнецов В.Л. Контроль герметичности теплотранспортных модулей ЯЗУ космического назначения // Междунар. сем. "Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНТЦ": Тез. докл. - Минск, 1999. - С.122.
8. Yukhnevich A.V., Kuznetsov V.L. Tightness Testing of Heat Transport Assemblies Operating in Vacuum // International Conference for Material Testing "MAT-2001": Abstracts. - Nuremberg, Germany, 2001. - P.32.