

**КОНТРОЛЬ МОЛЕКУЛЯРНОГО (ОРГАНИЧЕСКОГО)
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И
ВНУТРЕННЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
ТЕРМОВАКУУМНЫХ КАМЕР МЕТОДОМ
ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Е.В. Жировов, А.М. Зверев, В.А. Кобзев, С.Б. Нестеров, В.А. Богачев, Д.Н. Михайлов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МОЛЕКУЛЯРНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ИНФРАКРАСНАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ, ВАКУУМНАЯ КАМЕРА

**CONTROL OF MOLECULAR (ORGANIC)
CONTAMINATION OF THE INNER SURFACE AND
INTERNAL EQUIPMENT OF THERMAL VACUUM
CHAMBERS BY INFRARED SPECTROSCOPY**

E.V. Zhirovov, A.M. Zverev, V.A. Kobzev, S.B. Nesterov, V.A. Bogachev, D.N. Mikhailov

KEYWORDS

MOLECULAR CONTAMINATION, INFRARED SPECTROSCOPY,
VACUUM CHAMBER

Мониторинг с помощью инфракрасной (ИК) спектроскопии проводится для проверки строгого соблюдения контроля загрязнения и чистоты космических летательных аппаратов и вспомогательного оборудования. К общим загрязняющим факторам относятся: летучие конденсирующиеся вещества (ЛКВ); продукты обратного потока из насосных вакуумных систем; человеческий фактор; остатки моющих средств; нефилтруемое

загрязнение наружного воздуха; текучесть некоторых веществ (смазочные материалы).

Качественный ИК анализ молекулярных загрязнений проводится путем определения функциональной группы или сопоставления ИК спектров поглощения неизвестных материалов с известными эталонными материалами. Благодаря этому можно получить информацию о молекулярной структуре загрязняющих веществ.

Количественный ИК анализ уровней загрязнения основывается на законе Бугера-Ламберта-Бера и требует калибровки. Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, при прохождении излучения через раствор светопоглощающего вещества поток излучения ослабляется тем сильнее, чем больше энергии поглощают частицы данного вещества. Понижение интенсивности зависит от концентрации поглощающего вещества и длины пути, проходимого потоком.

Далее проводится отбор проб для анализа. Перед установкой зарегистрировать спектр очищенного, не подвергнутого воздействию, образца-свидетеля и сохранить его для использования в качестве исходного измерения. Образцы-свидетели помещаются на критических участках или возле них. В термовакуумной камере установка образцов свидетелей осуществляется на специальных площадках, на внутренних поверхностях криоэкранов. Образец-свидетель должен находиться под действием тех же условий, что и исследуемый участок (эти условия являются критическими, например, одинаковая температура и давление)

Для достоверной оценки влияния откачного вакуумного оборудования на количественные характеристики органического загрязнения вакуумирование термовакуумной камеры осуществляется штатным и резервным блоком вакуумирования (форвакуумным и высоковакуумным). Криоэкраны охлаждаются жидким азотом.

Все используемые в термовакуумной камере материалы должны отвечать требованиям чистоты в соответствии с контролем молекулярного загрязнения космической системы на образцах-свидетелях, чьё значение должно быть ниже $1 \cdot 10^{-7}$ г/см² в течение 24 часов. Образцы-свидетели выдержаны в камере в течение 24 часов, демонтированы с учетом мер по обеспечению чистоты и проанализированы при помощи ИК-спектрометра. Калибровка выполнялась с охватом требуемого диапазона концентрации от 5×10^{-8} г/см² до 5×10^{-6} г/см². Проведенный анализ образцов-свидетелей, экспонированных в ТВК при давлении $1,25 \times 10^{-5}$ Па ($1,25 \times 10^{-7}$ мбар) в течение 24 часов молекулярные загрязнения в диапазоне 5×10^{-8} г/см² до 5×10^{-6} г/см² не обнаружил.

Метод инфракрасной спектроскопии является наиболее простым, универсальным и быстрым методом, обеспечивающим высокое качество анализа чистоты вакуумных камер.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО 14644-8-2008 – Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Классификация молекулярных загрязнений в воздухе.
2. ECSS-Q-ST-70-05C 6. Space product assurance. Detection of organic contamination of surfaces by infrared spectroscopy. (RU): ECSS-Q-ST-70-05C 6. Обеспечение качества космической продукции. Обнаружение органического загрязнения поверхностей путём инфракрасной спектроскопии.
3. Прикладная ИК-спектроскопия: Основы, техника, аналит. применение / А. Смит; Пер. с англ. Б. Н. Тарасевича. - Москва: Мир, 1982.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Жировов Евгений Васильевич. Председатель совета директоров АО «Криогенмонтаж», ветеран космонавтики России, заслуженный

- испытатель космической техники, академик международной академии холода. Место работы АО «Криогенмонтаж», г. Москва. ORCID 0009-0008-8691-1409. vacuum@cryomont.com
2. Зверев Андрей Михайлович. Начальник отдела по проведению экспертизы промышленной безопасности. Место работы АО «Криогенмонтаж», г. Москва. ORCID 0009-0009-8890-9043. zvarev_am@cryomont.com
3. Кобзев Владимир Александрович. Директор структурного подразделения «Вакуумный участок». Место работы АО «Криогенмонтаж», г. Москва. ORCID 0009-0007-4737-8982. kobzev_va@cryomont.com
4. Нестеров Сергей Борисович. доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000 - 0002 - 7457-4213). Российское научно-техническое вакуумное общество им. академика С.А.Векшинского, г.Москва. e-mail sbn1108@yandex.ru
5. Богачев Вячеслав Алексеевич. Начальник отдела. Место работы АО «НПО Лавочкина», г. Химки. npol@laspace.ru
6. Михайлов Дмитрий Николаевич. зам. генерального конструктора. Место работы АО «НПО Лавочкина», г. Химки. npol@laspace.ru