УДК 681.2+629.78

КОНТРОЛЬ ЗА ЯВЛЕНИЕМ КОНТАМИНАЦИИ ОТ ОТДЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА «МЕРИДИАН-АМУР»

Е. И. ЗУБКО, Д. В. ФОМИН
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

В вакууме неметаллические материалы космического аппарата (КА) – полимеры, клеи, компаунды, лакокрасочные покрытия, основания печатных плат – выделяют летучие вещества. Они образуют собственную атмосферу аппарата и конденсируются на более холодных поверхностях; это явление называют контаминацией. Даже слой контаминантов толщиной 10 нм способен вдвое уменьшить пропускание оптики на отдельных участках вакуумного ультрафиолетового диапазона [1]. Наземные испытания материалов [2] проводятся в стандартных условиях и не воспроизводят реальных температурных циклов и длительности полёта, поэтому явление необходимо изучать непосредственно на орбите.

Для этого в Амурском государственном университете создан прибор «Меридиан-Амур» [3]. Его чувствительный элемент – кварцевый резонатор, работающий как микровесы: осаждение контаминантов на его пластине снижает резонансную частоту [4]. Прибор построен по схеме универсального блока полезной нагрузки из модуля датчика и аналитического модуля с микроконтроллером и в настоящее время проходит лётные испытания на аппарате «МорСат-1» (программа «УниверСат», запуск 28.12.2025). Однако в этом полёте он решает прежде всего задачу технологической отработки: датчик полностью открыт, поэтому регистрирует суммарный осадок от всех материалов аппарата и частиц извне, загрязняется ещё при сборке и выведении и не имеет чёткого момента начала измерений.

Чтобы перейти от регистрации суммарного загрязнения к исследованию конкретного материала, предложена новая итерация прибора – герметичный модуль (рис. 1). В нём серийный резонатор в корпусе HC-49/U используется без собственного корпуса: цоколь *3* с кварцевой пластиной *4* установлен в корпус *1* с крышкой *2*, а выводы проходят наружу через трубчатые гермовводы *6*. В гнезде дна параллельно пластине на расстоянии 3,9 мм размещается сменный образец *5* размером 10 × 10 × 1 мм так, что чувствительная поверхность обращена только к нему.

Герметичность корпуса защищает пластину и образец от загрязнения на всех наземных этапах. До выведения канал сброса *7* перекрыт пластиной-заглушкой *10*, прижатой к уплотнительному кольцу *8* самотормозящим винтовым приводом *11*. На орбите по команде мотор-редуктор *13* за 10…15 с отводит привод; пружина *9* и внутреннее давление отбрасывают заглушку, и воздух выходит через два встречных окна кронштейна *12*. После этого полость сообщается с внешней средой лишь через канал диаметром 1 мм без прямой видимости на пластину, поэтому осадок на ней формируют практически только

продукты газовыделения образца. Его масса определяется по изменению частоты согласно уравнению Зауэрбрея [5]:

$$\Delta f = -\frac{2{f_0}^2}{\sqrt{\rho_q \mu_q}} \cdot \frac{\Delta m}{S}. \quad (1)$$

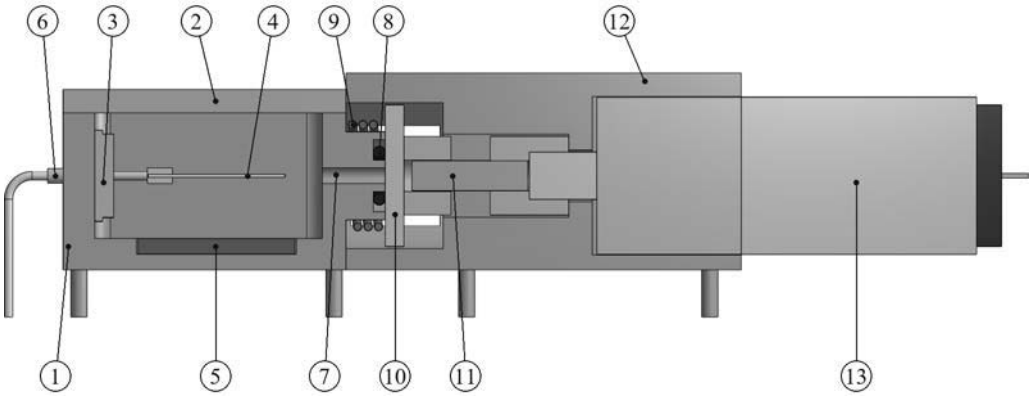

Рис. 1. Разрез модуля: *1* – корпус; *2* – крышка; *3* – цоколь; *4* – пластина кварца; *5* – образец; *6* – гермоввод; *7* – канал; *8* – кольцо; *9* – пружина; *10* – заглушка; *11* – привод; *12* – кронштейн; *13* – мотор

Таким образом, предлагаемый модуль превращает «Меридиан-Амур» из интегрального индикатора загрязнения в инструмент исследования отдельного материала. Эксперимент на орбите позволит получить кинетику газовыделения выбранного материала – зависимость массы контаминантов от времени, отсчитываемого от момента сброса давления, и её связь с температурой, а также сопоставить эти данные с результатами наземных испытаний [2]. Серия модулей с разными образцами позволит ранжировать материалы по загрязняющему воздействию и обоснованно выбирать их для оптики и солнечных батарей малых КА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кузин, С. В.** Особенности разработки и использования аппаратуры для проведения космических экспериментов в ВУФ-диапазоне спектра / С. В. Кузин, С. А. Богачев, А. С. Кириченко // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2023. – № 12. – С. 31–38.

2. Материалы неметаллические. Метод испытания на потерю массы и содержание летучих конденсирующихся веществ при вакуумно-тепловом воздействии : ГОСТ Р 50109–92. – М. : Изд-во стандартов, 1992.

3. **Фомин, Д. В.** Изучение явления контаминации на малых космических аппаратах / Д. В. Фомин, И. О. Шолыгин, Е. И. Зубко // Научное приборостроение. – 2024. – Т. 34, № 2. – С. 44–53.

4. Полезная модель RU 231665 U1, МПК B64G 1/66, G01B 17/02. Бортовая система спутника стандарта CubeSat для контроля за явлением контаминации : заявлено 27.11.2024 : опубл. 05.02.2025 / Фомин Д. В., Зубко Е. И. ; заявитель Амурский гос. ун-т.

5. **Sauerbrey, G.** Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung dünner Schichten und zur Mikrowägung / G. Sauerbrey // Zeitschrift für Physik. – 1959. – Bd. 155, № 2. – S. 206–222.