

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

А.С. Касаткин, М.П. Калаев  
Самарский университет, г. Самара

В настоящее время большое число спутников запускается на низкую околоземную орбиту (НОО) с высотами от 200 до 800 км. На космический аппарат (КА) влияет обширный комплекс факторов космического пространства, в результате воздействия которых в материалах и элементах бортового оборудования протекают разнообразные физико-химические процессы, приводящие к ухудшению эксплуатационных параметров КА. Одним из таких факторов является набегающий поток атомарного кислорода [1].

Атомарный кислород (АК) является доминирующим компонентом атмосферы Земли на высотах 200-700 км. Столкновения атомов кислорода с внешними поверхностями КА, двигающихся по орбите со скоростью порядка 8 км/с, приводят к соударению, эквивалентному энергии в 5 эВ и потоку  $10^{14} - 10^{15}$  атом / (см<sup>2</sup>·с). При воздействии АК эрозия полимеров приводит к уменьшению толщины материалов, уносу массы, изменению физико-химических свойств материалов. Для оценки воздействия потоков АК на различные материалы разработано устройство, в котором используется универсальный частотный метод, отличающийся простотой устройства и эксплуатации преобразователя (кварцевые микровесы) [2]. В качестве преобразователя используется кварцевый элемент, включенный в контур генератора частоты. Принцип действия кварцевого преобразователя заключается в зависимости частоты генерируемых сигналов от изменения массы материала, напыленного на поверхность кварцевой пластины. Структурная схема кварцевых весов приведена на рисунке 1.

На регистрирующий кристалл (РК) воздействует поток частиц, в связи с чем масса его покрытия становится меньше, в то время как контрольный кристалл (КК) изолирован от окружающей среды. У каждого кристалла есть свой собственный генератор (генератор регистрирующего кристалла – ГРК и генератор контрольного кристалла – ГКК). Выходные сигналы указанных генераторов поступают на смеситель (СМ), на выходе которого образуется разностная частота. Изменение частоты сигнала на выходе смесителя может быть вызвано исключительно изменением массы напыленного материала на регистрирующем кристалле, так как контрольный кристалл изолирован от окружающей среды. Применение контрольного кристалла и смесителя минимизируют влияние температурных изменений. Дальнейшее уменьшение температурных влияний возможно путем выбора генератора и смесителя, которые имеют

низкочастотные температурные коэффициенты в диапазоне рабочих температур. Поскольку частота сигнала со смесителя лежит в килогерцовом диапазоне, то ее легче передать, чем частоту кристаллов (2 – 25 МГц). Разностная частота с выхода смесителя поступает на формирователь импульсов (ФИ), преобразующий синусоидальные колебания в последовательность импульсов той же частоты следования.

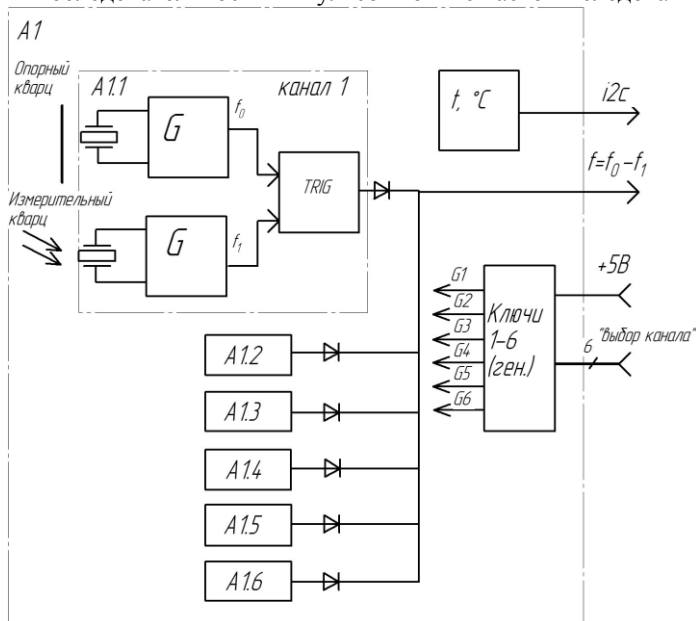


Рисунок 1 – Структурная схема кварцевых весов

Зависимость частоты круглого кварцевого резонатора вместе с нанесенным на пластину веществом (рассматривается случай равномерного распределения вещества по кварцевому резонатору) количественно выражается через уравнение Зауэрбрея:

$$\Delta f = -\frac{2 \cdot f_0^2}{B \sqrt{\rho_q \cdot \mu_q}} \Delta h \cdot \rho_m \cdot \pi \cdot r^2, \quad (1)$$

где  $\Delta f$  – изменение частоты, МГц;  $f_0$  – резонансная частота, МГц;  $\Delta h$  – изменение толщины исследуемого материала, см;  $B$  – активная колебательная зона,  $\text{см}^2$ ;  $\mu_q$  – модуль сдвига кварца,  $\text{г} / (\text{см} \cdot \text{с}^2)$ ;  $\rho_q$  – плотность кварца,  $\text{г} / \text{см}^3$ ;  $\rho_m$  – плотность материала,  $\text{г} / \text{см}^3$ ;  $r$  – радиус кварцевой пластины, см.

Уравнение (1) применимо только к системе, для которой выполняются условия: осажденный материал должен быть равномерно распределенным по

пластине, твердым, и  $\Delta f / f_0 \leq 0,02$ . Если выполняется условие  $\Delta f / f_0 > 0,02$ , то необходимо использовать Z-метод:

$$\Delta h = \frac{B \cdot N_q \cdot \rho_q}{\rho_k \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \pi \cdot Z \cdot f_l} \arctan \left[ Z \tan \left( \pi \frac{f_0 - f_l}{f_0} \right) \right], \quad (2)$$

где  $N_q$  – постоянная среза кварца, Гц;  $f_l$  – частота напыленной кварцевой пластины, МГц;

$$Z = \sqrt{\frac{\rho_q \cdot \mu_q}{\rho_f \cdot \mu_f}};$$

$\mu_f$  – модуль сдвига напыленного материала, г / (см · с<sup>2</sup>);  $\rho_f$  – плотность напыленного материала, г / см<sup>3</sup>.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под воздействием потока атомарного кислорода на поверхности материалов космического аппарата, в частности на полимеры, происходит уменьшение толщины материалов, унос массы, изменение физико-химических свойств материалов. Было проведено математическое моделирование метода кварцевого микровзвешивания, на основании которого была установлена большая точность измерения уноса массы вещества с поверхности кварцевой пластины.

#### Список использованных источников

1. Калаев, М.П. Устройство для контроля толщины покрытий на поверхности космического аппарата [Текст]/М.П. Калаев, Д.М. Рязанов//Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2014. – Том 17, №2. – С. 44-48.
2. Новиков, Л.С. Перспективы применения наноматериалов в космической технике [Текст]: Учебное пособие/Л.С. Новиков, Е.Н. Воронина. – М.: Университетская книга, 2008. – 188.

УДК 621.391.8

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОГО РАДИОПРИЁМА С БОРТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.А. Назаров

Самарский университет, г. Самара

Цель работы – анализ методов оценки вероятности успешного радиоприема с борта беспилотного летательного аппарата.

Был оценен многоцелевой беспилотный комплекс (МБК). МБК можно отнести к легкому классу БПЛА (15 килограммов) малого радиуса действия (радиус действия до 150 километров). МБК предназначен для наблюдения с воздуха за подстилающей земной поверхностью. Сегодня для построения территориально-распределённых СПРС используются радиостанции