

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

стандартов IEEE 802.11, которые работают с ненаправленными антеннами и ведут передачу конкурентно в режиме распределённого управления доступом по принципу физического CSMA и виртуального CSMA/CA контроля занятости радиоканала. Основным недостатком СПРс на основе радиостанций с непрерывными антеннами их низкая пропускная способность.

Так как расположение принимающей радиостанции  $RX_0$  относительно передающей радиостанции  $TX_0$  заранее неизвестно, то величина  $r_0$  и  $\phi$  случайны и математически описываются плотностью вероятности:

$$f(r_0) = \frac{2r_0}{R^2}; 0 \leq r_0 \leq R; \quad (1)$$

$$f(\phi) = \frac{1}{2\pi}; 0 \leq \phi \leq 2\pi; \quad (2)$$

В выражении (1) величина R-дальность радиосвязи, которая определяется требованиями связности СПРс. Расположение на плоскости остальных радиостанций TX, можно математически представить распределением Пуассона, согласно которому вероятность нахождения k радиостанций на площади S находится по формуле:

$$P[k \text{ на } S] = e^{-\lambda_s S} \frac{(\lambda_s S)^k}{k!}, \quad (3)$$

где  $\lambda_s = K/S$ -плотность радиостанций.

Мощность полезного сигнала  $P_0$ , по данным Zorzi M. на входе приёмника  $RX_0$  с учётом средних потерь распространения, медленных и быстрых замираний можно определить выражениями:

$$P_0(r_0, \beta_0, \alpha_0) = K P_{TX} r_0^{-\eta} e^{\beta_0} \alpha_0; \quad (4)$$

$$f(\beta_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{\beta_0^2}{2\sigma^2}}; \sigma_{dB} = (10/\ln 10)\sigma;$$

$$f(\alpha_0) = e^{-\alpha_0}, 0 \leq \alpha_0 \leq \infty,$$

где  $K = (\lambda/4\pi)^2$ - параметр, определяемый длиной волны  $\lambda$ ;  $P_{TX}$  – мощность передатчика,  $r_0$  – расстояние между передающей и принимающей радиостанциями;  $\eta = 2 - 4$  – параметр средних потерь распространения;  $\beta_0$  – случайная величина с нормальным законом распределения, характеризующая медленные замирания;  $\alpha_0$  – случайная величина с нормальным законом распределения, характеризующая быстрые замирания.

Мощность сигнала внутрисистемных помех  $P_i$  на входе приёмника  $RX_0$ , по аналогии с (4) можно определить выражением:

$$P_i(r_i, \beta_i, \alpha_i) = K P_{TX} r_i^{-\eta} e^{\beta_i} \alpha_i, \quad (5)$$

где  $r_i$ - это расстояние между радиостанциями  $RX_0$  и  $TX_i$ .

Критерий успешного радиоприема радиостанции  $RX_0$  – вероятность

$P_{SUC}[SINR] = P[SINR \geq \gamma]$ , где SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) – отношение сигнала/(шум + внутрисистемные помехи);  $\gamma$  – некоторое пороговое значение, определяемое чувствительностью

приемника радиостанции. Отношение SINR можно определить выражением

$$SINR(r_0, \beta_0, \alpha_0, r_i, \beta_i, \alpha_i, k_I(p, \lambda_s)) = \frac{P_0(r_0, \beta_0, \alpha_0)}{P_{N_0} + \sum_{i=1}^{k_I(p, \lambda_s)} P_i(r_i, \beta_i, \alpha_i)}, \quad (6)$$

где  $P_{N_0}$  – мощность теплового шума;  $k_I(p, \lambda_s)$  – число источников внутрисистемных помех;  $p$  – вероятность передачи.

Вероятность успешного приема в СПРС для случая ненаправленных антенн по данным Zorzi M. и Pipolin S., можно определить по формуле:

$$P_{SUC}[SINR(\bar{r}_0, p, \lambda_s), \gamma] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_0^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left(-\left(\frac{r_0}{R}\right)^\eta e^\eta\right) \times \exp\left(-\xi(\eta, \sigma) \gamma^\frac{2}{\eta} p \lambda_s \pi r_0^2 e^{-\frac{2\beta_0}{\eta}}\right) d\beta_0, \quad (7)$$

$$\text{где } \xi(\eta, \sigma) = \frac{2\pi}{\eta} \cos ec \frac{2\pi}{\eta} e^{\left(\frac{\sqrt{2\sigma}}{\eta}\right)^2}.$$

$$P_{SUC}[SINR(\bar{r}_0, p, k_{cov}), \gamma] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_0^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left(-(\bar{r}_0)^\eta e^{\beta_0}\right) \times \exp\left(-\xi(\eta, \sigma) \gamma^\frac{2}{\eta} p k_{cov} (\bar{r}_0)^2 e^{-\frac{2\beta_0}{\eta}}\right) d\beta_0. \quad (8)$$

С точки зрения качественного анализа вероятности успешного радиоприема, выражение (8) более удобно, чем (7).

Формула вероятности успешного радиоприема в СПРС для случая направленных антенн, по данным Бабкова В.Ю. и Фокина Г.А., имеет вид:

$$P_{SUC}^D[SINR(\bar{r}_0, p, k_{cov}), \gamma] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_0^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left(-(\bar{r}_0)^\eta e^{\beta_0}\right) \times \exp\left(-\xi(\eta, \sigma) \gamma^\frac{2}{\eta} \left(\frac{G_I}{G_0}\right)^\frac{2}{\eta} p k_{cov} (\bar{r}_0)^2 e^{-\frac{2\beta_0}{\eta}}\right) d\beta_0. \quad (9)$$

Из сравнения выражений (8) и (9) следует, что они отличаются множителем  $\left(\frac{G_I}{G_0}\right)^\frac{2}{\eta}$ .

УДК 629.78; 621.382

## БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ПОДВЕСОМ СТЕНДА ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.А. Козлова, М.П. Калаев  
Самарский университет, г. Самара

Для отработки систем ориентации и стабилизации космических аппаратов используются стенды, имитирующие определенное положение в