

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ БАЛІСТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

к.т.н. Б.О. Чумак, к.т.н. В.М. Попов, к.т.н. І.Г. Лисаченко, Д.В. Кравцов  
(подав д.т.н., професор О.І. Стрелков)

*Запропонований підхід щодо оптимального вибору робочих характеристик вимірювальних каналів радіотехнічних систем вимірювання параметрів руху балістичних об'єктів.*

**Вступ.** Задача визначення необхідної кількості вимірів будь-якого навігаційного параметра при забезпеченні заданої якості вимірювань є досить складною. Причини ускладнення полягають у наступному: по-перше, час спостереження об'єкта наземними радіотехнічними засобами є обмеженим, а, по-друге, величина мірного інтервалу кожного радіотехнічного засобу не узгоджена з параметрами траєкторій. При цьому важко визначити, як на малій ділянці спостереження об'єктів забезпечити найкращу якість виконання задачі вимірювання параметрів руху балістичних об'єктів (БО).

**Аналіз літератури.** Сучасні засоби контролю та управління балістичними об'єктами (в тому числі космічними апаратами (КА)) не завжди забезпечують якісне виконання задач технологічного циклу управління космічного апарата. Це пов'язано з низкою негативних факторів, обумовлених використанням однопунктної технології управління. Досвід проведення робіт по управлінню польотом національного КА з висотою кругової орбіти близько 700 км виявив, що похибки виведення на початковому етапі польоту не дозволяють із необхідною точністю розрахувати цілевказівки антенним системам радіотехнічних засобів. Враховуючи, що час знаходження космічного апарата в зоні дії засобів наземного комплексу управління досить малий (порядку 10 хвилин), виконання операцій командно-програмного забезпечення, прийому телеметричної інформації з борту космічного апарата та проведення вимірювань поточних навігаційних параметрів (ПНП) руху є в цілому утрудненим. Крім того, інтервал часу знаходження КА поза зоною дії засобів наземного комплексу управління тривалий (іноді досягає 10 годин), тобто косміч-

ний апарат знаходиться в автономному неконтрольованому польоті. Тому забезпечення потрібної точності вимірювань ПНП руху в наведених умовах є складним завданням.

**Мета статті** – це спроба знайти підхід щодо вирішення задачі забезпечення потрібних точностей у процесі вимірювання поточних навігаційних параметрів руху космічного апарата наземними засобами за рахунок вибору їх оптимальних робочих характеристик в умовах просторово-часових обмежень.

Насамперед уведемо деякі припущення. А саме, будемо вважати, що окремі вимірювання є незалежними випадковими величинами і розподілені за нормальним законом із відомими характеристиками. Для заданих імовірності отримання вимірювань та значень середньоквадратичних похибок вимірювань, використовуючи відомі співвідношення з теорії ймовірності та нерівність Чебишева [1]:

$$P\left\{\left|\frac{1}{M}\sum_{i=1}^M \lambda_n - a\right| < \varepsilon\right\} \geq 1 - \frac{c}{M\varepsilon^2},$$

можна отримати кількість вимірювань навігаційних функцій  $M$ . Подалі, враховуючи, що один вимір здійснюється на протязі терміну інтегрування згладжувальних кіл слідкуючих вимірювальних систем, розраховується загальний час, що потрібен для проведення вимірювань.

З іншого боку, величина  $M$  є обмеженою через необхідність забезпечення лінійності фільтрованої функції на інтервалі її вимірювання за термін накопичування сигналу у вимірювальній системі. При цьому квадратичний член вимірюваної функції має бути суттєво малим і не перевищувати допустимої похибки системи, тобто

$$\ddot{D}(0) \left(\frac{T}{2}\right)^2 \leq \sigma_{\text{Ддоп}}. \quad (1)$$

Звідси маємо

$$T \leq 2 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{Ддоп}}}{\ddot{D}(0)}}. \quad (2)$$

Проте, щоб забезпечити визначену лінійність на усьому сеансі вимірювання слід у формулу (2) підставляти максимальне значення прискорення, яке визначається співвідношенням [2]:

$$\ddot{D}_{\max} = \frac{V^2}{H} = \frac{\mu_3}{H(R_3 + H)}, \quad (3)$$

де  $V$  – шляхова швидкість об'єкта;  $\mu_3$  – гравітаційний потенціал Землі.

При цьому дискретність вимірювань має складати величину  $\Delta t \geq 1/\Delta f_{\text{ш}}$ , де  $\Delta f_{\text{ш}}$  – ефективна шумова смуга пропускання вимірювального каналу [3]. Тоді кількість вимірювань  $M$  складає величину

$$M \leq 2\Delta f_{\text{ш}} \sqrt{\frac{\sigma_{\text{доп}} H(R_3 + H)}{\mu_3}}$$

і формула розрахунку допустимого обсягу вибірки (вимірювань) буде наступною:

$$M \leq \frac{\ddot{D}_{\max}}{\sqrt{\sigma_{\text{доп}} \ddot{D}_{\max}}}. \quad (4)$$

Із виразу (4) виникає питання щодо визначення величини  $\sigma_{\text{доп}}$ , оскільки інші складові виразу визначаються параметрами траєкторії польоту КА. Визначення величини  $\sigma_{\text{доп}}$  є складною задачею і залежить від багатьох факторів, в першу чергу від ступеня важливості завдання, що вирішується.

Відомо, що для слідкуючих систем підсумкову похибку вимірювання визначають із виразу [3, 4] при умові  $\Delta f_{\text{ш}} T \gg 1$  ( $\Delta f_{\text{ш}}$  – ефективна шумова смуга слідкуючого вимірника):

$$\sigma_{\Sigma}^2 = 2\tilde{S}_{\text{екв}} \Delta f_{\text{ш}} + \frac{\sigma_{\lambda}^2}{2\Delta f_{\text{ш}} T} + \frac{\ddot{D}^2}{16\Delta f_{\text{ш}}^4}. \quad (5)$$

Визначимо оптимальну ефективну шумову смугу з точки зору мінімуму дисперсії сумарної похибки. Застосовуючи класичну методику пошуку екстремуму, одержимо оптимальне значення шумової смуги для  $\ddot{D} \rightarrow 0$ :

$$\Delta f_{\text{шопт}} = \frac{\sigma_{\lambda}}{2\sqrt{\tilde{S}_{\text{екв}} T}}. \quad (6)$$

Підставляючи дане значення (6) у вираз (5), одержимо мінімальне значення дисперсії похибки вимірювань

$$\sigma_{\Sigma \min}^2 = 2\sigma_{\lambda} \sqrt{\frac{S_{\text{екв}}}{T}}. \quad (7)$$

Дане значення слід вважати відправним при визначенні величини допустимої похибки. Проте, в реальних ситуаціях треба відповісти на питання: яка дисперсія похибки відновлення функції  $D(t)$  у межах інтервалу спостереження тривалістю  $T$ .

**Висновки.** З виразу (7) можна зробити наступні висновки. По-перше, визначена дисперсія зменшується при збільшенні періоду  $T$  вимірювань, а отже, при збільшенні кількості вимірів  $M$ . По-друге, при сталому періоді вимірювань єдина можливість зменшення дисперсії похибок вимірювань полягає у зменшенні дисперсії похибок оцінок параметрів поліному. Відзначимо, що вираз (7) характеризує мінімальні означені вище дисперсії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗО. – Совместное издание "Гойнбер" Лейпциг, М.: Наука, 1981. – 720 с.*
2. *Эльясберг П.Е. Определение движения по результатам измерений. – М.: Наука, 1974. – 246 с.*
3. *Хомяков Э.Н. Измерительно-информационные радиосистемы. – Х.: ХВВКИУ, 1985. – 220 с.*
4. *Фалькович С.Е. Оценка параметров сигнала. – М.: Сов. радио, 1970. – 336 с.*

*Надійшла 29.12.2003*

**ЧУМАК Борис Олександрович**, канд. техн. наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру космічних досліджень (при ХВУ). В 1971 закінчив Харківське вище командно-інженерне училище. Область наукових інтересів – інформаційно-вимірвальні радіотехнічні системи комплексів.

**ПОПОВ Володимир Михайлович**, канд. техн. наук, ст. наук. спів., провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру космічних досліджень (при ХВУ). В 1989 закінчив Військову інженерну радіотехнічну академію. Область наукових інтересів – радіолокаційні методи розпізнання.

**ЛИСАЧЕНКО Ігор Григорович**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру космічних досліджень (при ХВУ). В 1992 році закінчив Харківське вище командно-інженерне училище ракетних військ ім. Маршала Радянського Союзу Крилова М.І. Область наукових інтересів – методи та засоби обробки вимірвальної інформації.

**КРАВЦОВ Дмитро Володимирович**, інженер навчальної лабораторії Харківського інституту ВПС. В 1994 році закінчив Харківський військовий університет. Область наукових інтересів – методи та засоби обробки вимірвальної інформації.