

## **МЕТОДИКА РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ СКЛАДУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У ПОЗАШТАТНІЙ СИСТЕМІ ТРАЄКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

*Запропоновано методику раціонального вибору складу вимірювальних засобів у позаштатній системі траєкторних вимірювань параметрів руху космічних апаратів спостереження земної поверхні з цільовою апаратурою високої розрізненості, яка містить у своєму складі різноманітні наземні вимірювачі. Наведено результати математичного моделювання.*

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній час вимоги до якості управління космічними апаратами (КА) спостереження земної поверхні значно підвищуються, що зумовлено впровадженням перспективних космічних систем, які здатні отримувати інформацію про земну поверхню у вигляді космічних знімків високої розрізненості [1]. Основним наземним елементом, що виступає як джерело з отримання своєчасних високоточних відомостей про параметри руху вітчизняних КА є наземні засоби вимірювань. Однак наявність позаштатних ситуацій у процесі управління КА, що зумовлені відмовами штатного наземного вимірювача, призводить до необхідності використання додаткових вимірювальних засобів. У такому разі їх сумісне використання утворює позаштатну систему траєкторних вимірювань.

Метою роботи системи траєкторних вимірювань є одночасне отримання високоточних та оперативних відомостей про дійсний рух КА для забезпечення вирішення ним цільового завдання. Тому розробка структури та принципів роботи позаштатної системи траєкторних вимірювань, а також розробка математичного забезпечення проводяться з погляду оптимізації вирішення цих завдань [2]. Завдання пошуку оптимального вирішення із можливих варіантів у будь-якій складній технічній системі вимагає всебічного опису самої системи з визначенням якісної оцінки вихідних ефектів функціонування системи, правил вироблення рішення на основі функціональних зв'язків [3].

Таким чином, питання підвищення ефективності використання наявного складу вимірювальних засобів у позаштатній системі траєкторних вимірювань для точного та оперативного визначення параметрів руху КА є актуальним.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Питанню раціонального застосування інформаційних засобів та створенню на їх основі систем різного призначення останнім часом приділяється достатня увага [4-6]. Так, у [4, 5] розглядаються варіанти створення активного багатопозиційного радіолокаційного комплексу, особливістю якого є використання як елементів, що входять до його складу, активних автономних радіолокаційних станцій (РЛС) з однаковими характеристиками. У [6] наведено задачу оптимізації топології систем зв'язку, для розв'язання якої пропонується метод векторної оптимізації дерева структур із застосуванням нелінійної схеми компромісів.

Особливість залучення додаткових різноманітних вимірювальних засобів для визначення параметрів руху КА характеризується різним складом та точністю

вимірювальних параметрів, отриманих окремим вимірювачем, тривалістю супроводу КА, а також іншими тактико-технічними даними. Наявність у складі позаштатної системи траєкторних вимірювань РЛС, які потребують великих енергетичних витрат, вимагає розв'язання задачі визначення оптимального складу вимірювачів з погляду суперечності «вартість створення позаштатної системи траєкторних вимірювань – точність вимірювання параметрів руху КА». Даний клас задач у зв'язку з наявністю переліку характеристик, що утворюють вектор критеріїв, від якого залежить якість виконання цільового завдання КА, призводить задачу оптимізації до багатокритерійної.

**Формулювання завдання дослідження.** Метою статті є розробка методики раціонального вибору складу вимірювальних засобів у позаштатній системі траєкторних вимірювань.

**Виклад основного матеріалу.** Удосконалення існуючої однопунктної технології управління шляхом залучення високоточних оптичних засобів дозволяє підвищити точність визначення параметрів руху КА. При цьому за час одного прольоту над територією держави КА буде знаходитись у зоні радіовидимості (ЗРВ) різного складу вимірювачів (РЛС 5Н86, квантово-оптичної системи (КОС) «Сажень-С») з відповідним часом перебування, що визначає можливі варіанти супроводу КА (табл.).

Таблиця

*Можливості супроводу КА типу «Січ-1М» РЛС 5Н86 та КОС «Сажень-С» протягом однієї доби*

Номер варіанта	Час перебування КА			
	у ЗРВ РЛС 5Н86 м. Мукачеве, год: хв: с	у ЗРВ РЛС 5Н86 м. Севастополь, год: хв: с	у ЗРВ КОС м. Євпаторія, год: хв: с	у ЗРВ КОС м. Дунаївці, год: хв: с
1	–	0:03:39	0:04:20	0:03:15
2	0:05:32	0:02:05	–	–
3	–	0:03:30	0:03:10	–
4	0:03:55	0:02:52	–	0:03:16

Відомо, що найкраща точність отримання параметрів руху буде досягтися при використанні всіх вимірювачів одночасно, що пов'язано із застосуванням методів статистичного оцінювання при обробці даних за накопиченням обсягу вимірювальної інформації [7]. Неможливість одночасного підвищення точності визначення параметрів руху КА  $Q$ , яка характеризується визначником кореляційної матриці похибок визначення початкових умов руху КА  $K_{x_0}$ , та зменшення витрат  $V$  на створення та функціонування системи, які характеризуються кількістю елементів інформаційної системи (вимірювачів)  $J$ :

$$Q(J) = \det K_{x_0}^{-1}(J) \Rightarrow \max; \tag{1}$$

$$V(J) \Rightarrow \min,$$

де  $X_0 = (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  – вектор початкових умов (ПУ) руху КА в гринвіцькій системі координат (ГСК), – вимагають розв'язку багатокритерійної задачі у такій постановці.

**Постановка задачі**

**Дано:**

$J = 1, 2, \dots, j$  – наявна кількість вимірювачів;

$D_j$  – кількість вимірювань, яка отримана  $j$ -м вимірювачем;

$G$  – множина можливих рішень, яка визначається виразом

$$G = C_J^k = k \frac{(J+k-1)!}{J!(k-1)!} - U, \quad (2)$$

де  $C$  – кількість варіантів супроводу КА сукупністю вимірювачів протягом одного витка;

$k$  – кількість типів вимірювачів;

$U$  – кількість несприятливих рішень.

Сукупність суперечливих критеріїв, які характеризують якість функціонування системи можна подати у вигляді:

$$E = F[\det K_{X_0}^{-1}(J), V(J)]. \quad (3)$$

**Необхідно:** визначити таке  $J_{opt}$ , яке б при заданих умовах, зв'язках та обмеженнях оптимізувало вектор ефективності (3).

**Розв'язання задачі.** Одним з можливих варіантів розв'язання задачі багатокритерійної оптимізації є пошук екстремуму критерійної функції, що отримана одним із методів зведення часткових критеріїв в основний загальний критерій оптимальності [8].

Для розв'язання задачі у такій постановці пропонується використати критерій оптимальності на основі скалярної згортки за нелінійною схемою компромісів [9]

$$J_{opt} = \arg \min_{J \in G} \sum_{n=1}^N \lambda_n [1 - \varphi_{0n}(J)]^{-1}, \quad (4)$$

де  $\varphi_{0n}(J)$  – нормована функція  $n$ -го часткового критерію;

$\lambda_n$  – ваговий коефіцієнт  $n$ -ї критерійної функції.

Відповідно до етапів вироблення оптимального розв'язку багатокритерійної задачі необхідним є вибір оптимізованого параметра. У даному випадку оберемо як параметр, що необхідно оптимізувати, загальну кількість вимірювань, отриманих кожним з вимірювачів  $D$ .

З метою врахування первинної цілі задачі визначення параметрів руху КА (точне знання положення КА на орбіті чи прогнозування руху на заданий час) доцільно частковий критерій, що характеризує точність визначення параметрів руху КА, зобразити у вигляді двох складових:

$$\det K_R^{-1}(D), \det K_B^{-1}(D), \quad (5)$$

де  $R = (x, y, z)$ ,  $B = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  – складові вектора ПУ руху КА в ГСК.

У зв'язку з тим, що кількість отриманих вимірювань залежить від часу супроводу КА, що характеризує енергетичні витрати  $V(D)$ , систему часткових критеріїв оптимальності, зведену до одного напрямку оптимізації, можна зобразити таким чином:

$$\begin{aligned} \det K_R(D) &\Rightarrow \min, \\ \det K_B(D) &\Rightarrow \min, \\ V(D) &\Rightarrow \min, \\ D &- \text{var}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для аналізу системи критеріїв (6) необхідно мати їх аналітичні залежності, які можуть бути отримані за допомогою дослідження критерійних функцій. Для даного випадку будемо користуватися методом отримання експертних даних шляхом комп'ютерного моделювання процесу отримання та обробки траєкторної інформації різнотипними вимірювачами: двома РЛС 5Н86 (м. Мукачеве, м. Севастополь) та двома КОС «Сажень-С» (м. Євпаторія, м. Дунаївці). Можливі варіанти спостереження КА наявною кількістю вимірювачів з урахуванням того, що КОС «Сажень-С» самостійно не розв'язує задачу оперативного визначення параметрів руху КА, можна отримати за виразом (2). Тривалість спостереження КА відповідним типом вимірювача буде визначатися часом входу та виходу його з відповідної ЗРВ конкретного вимірювача  $t_j = t_j^{вх} - t_j^{вх}$ .

Тоді загальна кількість вимірювань буде визначатися максимальним часом перебування КА у ЗРВ:

$$D = \sum_{j=1}^J D_j = \sum_{j=1}^J k_j t_j \Delta_j, \tag{7}$$

де  $\Delta_j$  – темп отримання вимірювань кожним засобом.

У зв'язку з тим, що  $\Delta_{РЛС} \neq \Delta_{КОС}$ , виникає складність у формуванні бази даних для варійованого параметра  $D$ . Тому задачу пошуку оптимальної кількості вимірювань розіб'ємо на два послідовні етапи: визначення оптимального складу вимірювань, що отримані РЛС 5Н86; визначення оптимального складу вимірювань РЛС 5Н86 та КОС «Сажень-С». Таким чином, методику оптимізації складу вимірювальних засобів у позаштатній системі траєкторних вимірювань з урахуванням різнотипності вимірювачів можна зобразити у такому вигляді (рис. 1):

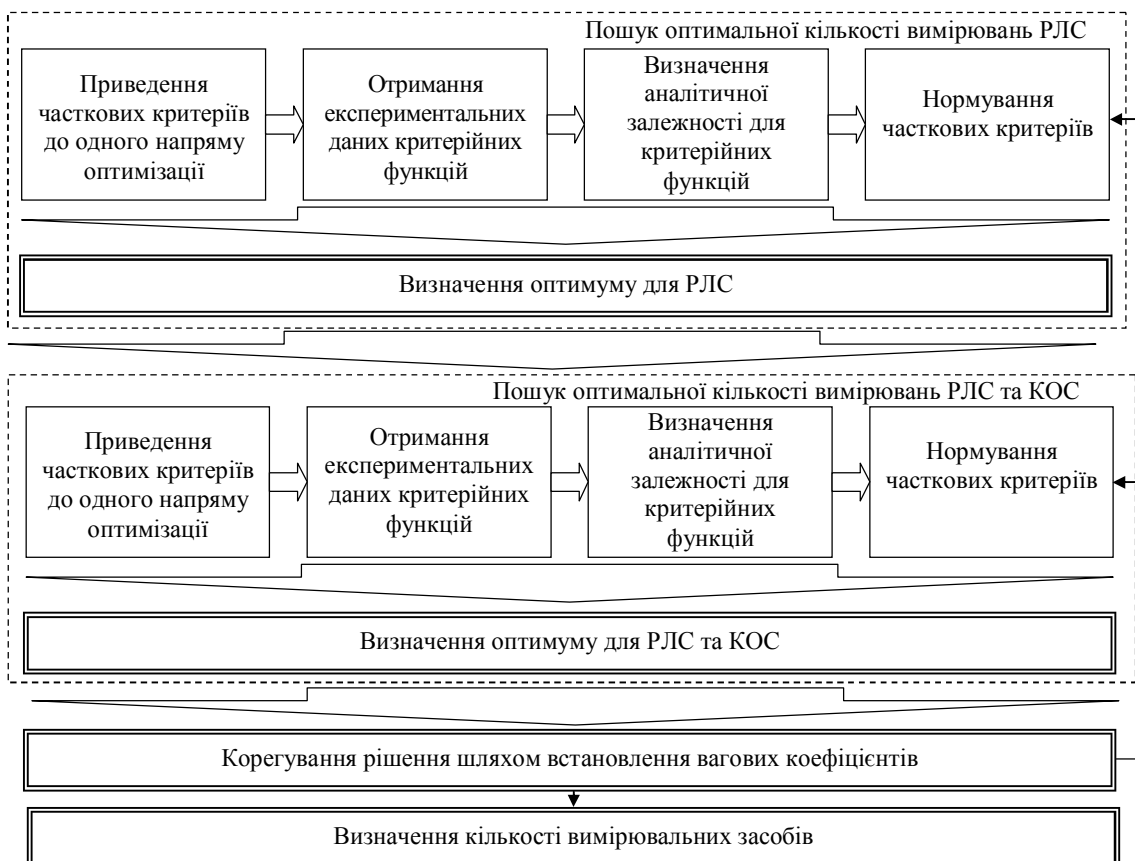


Рис. 1

Вираз для отримання оптимального значення параметра  $D$  згідно з (4) матиме такий вигляд:

$$D_{opt} = \arg \min_{D \in d} \left[ \lambda_1 \frac{1}{1 - \det K_R^{norm}(D)} + \lambda_2 \frac{1}{1 - \det K_B^{norm}(D)} + \lambda_3 \frac{1}{1 - V^{norm}(D)} \right], \quad (8)$$

де  $\det K_R^{norm}(D), \det K_B^{norm}(D), V^{norm}(D)$  – нормовані значення часткових критеріїв;

$d$  – область визначення функції часткових критеріїв оптимальності.

Диференціюючи вираз (8), знайдемо оптимальні значення кількості вимірювань на кожному етапі (рис. 1).

Графіки аналітичних моделей критерійних функцій, що отримані за методом найменших квадратів, та оптимальні значення  $D_{opt}$  відповідно до варіантів (табл.) зображені на рис. 2.

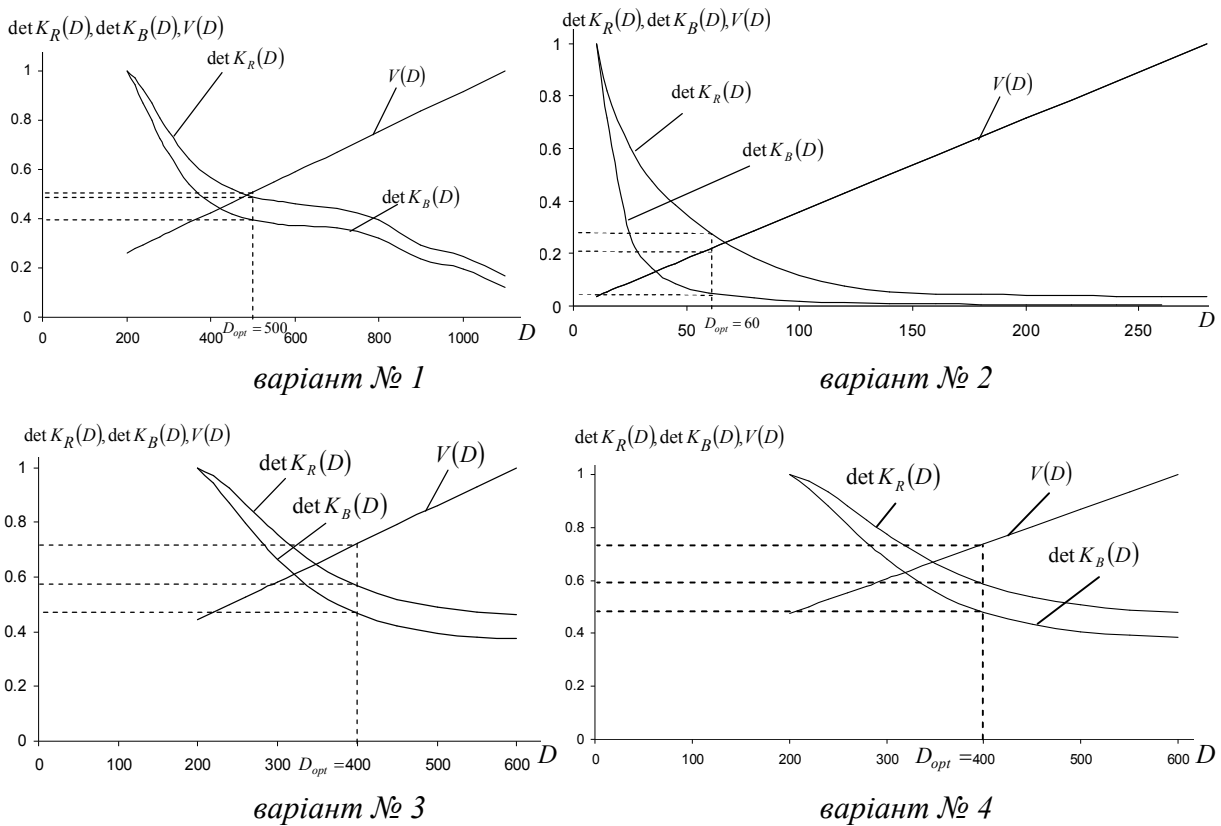


Рис. 2

Враховуючи, що у складі позаштатної системи траєкторних вимірювань необхідно використовувати КОС «Сажень-С», оптимальна кількість вимірювачів для визначення параметрів руху КА типу «Січ-1М» буде визначатися за варіантом № 3 (РЛС 5Н86 м. Севастополь, КОС «Сажень-С» м. Євпаторія).

**Висновок та перспективи подальших досліджень.** Таким чином, запропоновано методику раціонального вибору складу вимірювальних засобів у позаштатній системі траєкторних вимірювань, яка дозволяє провести раціональне планування роботи наземних засобів визначення параметрів руху КА. У подальшому планується вдосконалити методику шляхом застосування інтерактивної процедури симплекс-планування для встановлення вагових коефіцієнтів.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Проект Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008–2012 роки. – К. : НКАУ, 2007. – 32 с.
2. Лебедев А. А. Космические системы наблюдения: Синтез и моделирование / А. А. Лебедев, О. П. Нестеренко. – М. : Машиностроение, 1991. – 224 с.
3. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / Т. Р. Брахман. – М. : Радио и связь, 1984. – 288 с.
4. Ковбасюк С. В. Методика оптимизации выбора параметров структуры многопозиционного радиолокационного комплекса / С. В. Ковбасюк, А. А. Писарчук // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 6. – С. 120–128.
5. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация / В. С. Черняк. – М. : Радио и связь, 1993. – 415 с.
6. Воронин А. Н. Применение нелинейной схемы компромиссов в задаче синтеза структуры систем передачи данных / А. Н. Воронин, П. Д. Мосорин, М. В. Ткаченко, С. А. Шворов // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 3. – С. 69–82.
7. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений / Б. Ф. Жданюк. – М. : Сов. радио, 1978. – 384 с.
8. Воронин А. Н. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования: монография / [А. Н. Воронин, Ю. К. Зиятдинов, А. В. Харченко]. – Харьков : Факт, 1997. – 240 с.

Подано 01.09.08

**А. Н. Воронин, Ю. И. Михеев**

**МЕТОДИКА РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА СОСТАВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ВО ВНЕШТАТНОЙ СИСТЕМЕ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Предложено методику рационального выбора состава измерительных средств во внештатной системе траекторных измерений параметров движения космических аппаратов наблюдения земной поверхности с целевой аппаратурой высокого разрешения, которая имеет в своём составе разнотипные наземные измерители. Приведены результаты математического моделирования.*

**A.N. Voronin, Y.I. Mikheev**

**THE METHOD OF RATIONAL CHOICE OF COMPOSITION OF MEASURING DEVICES IN NONREGULAR SYSTEM OF THE TRAJECTORY MEASUREMENTS**

*The method of composition rational choice of measuring in nonregular system of parameters trajectory measuring of satellites motion of Earth supervision surface with apparatus of detailed resolution, containing different types of measuring devices is offered. The results of the mathematical modeling are presented.*