

УДК 681.142.4

**РАТНИКОВ І.М.**, головний науковий співробітник, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**ВОЗНЮК М.М.**, заступник начальника науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**ЄРКО В.Б.**, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу

## **ЩОДО ПОБУДОВИ БОРТОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*Пропонується методичний підхід щодо визначення оптимальних за критеріями маси та вартості варіантів побудови бортових вимірювальних систем, які використовуються для експлуатації військової авіаційної техніки.*

*Ключові слова:* експлуатація літаків, бортова вимірювальна система, метод критеріальних поверхонь.

На даний час значно підвищуються вимоги до достовірності оцінки технічного стану (ТС) військової авіаційної техніки (ВАТ) Збройних Сил України, що обумовлено застосуванням передових стратегій технічної експлуатації та процесами старіння парку ВАТ. Основним напрямком збільшення достовірності оцінки ТС літального апарату (ЛА) є збільшення кількості параметрів, які вимірюються на борту в реальних умовах польоту.

Існуючі бортові системи, наприклад, системи реєстрації типу БУР або «Тестер», реєструють не більше 256 аналогових параметрів, з яких для оцінки ТС ЛА використовуються лише 20...25% [1].

Технічними засобами, що можуть реалізувати задачі підвищення достовірності оцінки ТС військової авіаційної техніки є бортові вимірювальні системи (БВС).

У якості критеріїв щодо побудови БВС зазвичай використовують похибки вимірювань параметрів, масу та вартість системи. Дані критерії якості прості та наочні. Існуючі методики [2...5] побудови БВС, як правило, спрямовані на мінімізацію похибки вимірювань та (або) вартості системи та не враховують або відносять до обмежень такій важливий для ВАТ критерій, як маса системи.

Встановлення БВС на ЛА збільшує його масу, що небажано переміщує центрівки. Щоб уникнути цього, по можливості, БВС мінімізують. Однак, за умов не погіршення похибок вимірів та принципів функціонування обладнання БВС це приводить до додаткових витрат.

Отже, актуальність обраної тематики з однієї сторони, обумовлена об'єктивними потребами оптимізації показників маси та вартості при побудові БВС, а з іншої – відсутністю відповідного науково-методичного апарату.

Метою даної статі є розробка методичного підходу щодо побудови БВС з оптимальними показниками маси та вартості системи при похибках вимірів параметрів не гірших, ніж завдані.

Структурно БВС складаються з взаємопов'язаних вимірювальних каналів. Вимірювальні канали складаються безпосередньо з функціональних модулів (датчиків, підсилювачів, перетворювачів, комутаторів тощо) та мережі міжмодульного зв'язку. При формуванні кожного з вимірювальних каналів є множина альтернатив щодо його побудови. Кожна реалізація каналу містить  $l$  модулів ( $l = \overline{1, L}$ ). Похибка вимірювального каналу складається з похибок  $l$ -их модулів, що входять до складу  $i$ -го каналу, де  $i = \overline{1, I}$  - кількість вимірювальних каналів.

Маса  $M$  та вартість  $S$  системи складаються з маси  $M^o$  та вартості  $S^o$  обладнання БВС та відповідних маси  $M^p$  та вартості  $S^p$  міжмодульної мережі. Маса обладнання  $M^o$  та його вартість  $S^o$  залежні від вектора похибок вимірювань  $\bar{s}$ . Аналіз впливу значень похибок  $\bar{s}$  на  $M^o$  та  $S^o$  визначається методами статистичного аналізу [6]. Маса  $M^p$  та вартість  $S^p$  міжмодульної мережі характеризують розміщення обладнання на борту ЛА. Розміщення визначається за допомогою вектора координат модулів у монтажному просторі  $\bar{R} = \{x_l, y_l, z_l\}$ , де  $x_l, y_l, z_l$  - декартові координати  $l$ -х модулів. Вектор  $\bar{R} \in \bar{R}^3$ , де  $\bar{R}^3$  - області монтажного простору ЛА в якому дозволені до встановлення модулі БВС.

Отже, при побудови БВС вибір варіантів обладнання та розміщення БВС на ЛА незалежні один від одного. Можлива декомпозиція задачі щодо побудови БВС на задачу вибору оптимального варіанту обладнання та задачу розміщення обладнання у області дозволеного монтажного простору ЛА.

Постановка задачі: Завдана множина можливих рішень  $\bar{s} \in E$  скінченномірною евклідового простору  $E$ , що складається з вектора похибок  $\bar{s} = \{s_i\}_{i=1}^l$   $i$ -х вимірних параметрів ЛА, які характеризують його технічний стан. Необхідно знайти такий варіант обладнання БВС, що здійснює вимірювання з похибками  $\bar{s}^* \in \bar{S}^3$ , має оптимальні масу і вартість та розміщений у області дозволеного монтажного простору  $\bar{R} \in \bar{R}^3$ .

Формалізована постановка задач набуває виду

$$\bar{s}^* = \arg \min_{y \in E} \left\{ S(\bar{s}, \bar{R}), M(\bar{s}, \bar{R}) \right\} \quad (1)$$

Відповідно до принципів декомпозиції з (1) можливо відокремити задачу щодо вибору варіанта складу обладнання БВС:

$$\bar{s}^* = \arg \min_{y \in E} \{S^o(\bar{s}), M^o(\bar{s})\} \quad (2)$$

Задача (2) відноситься до класу задач векторної оптимізації [6], її сутність полягає у знаходженні області ефективних рішень стосовно складу обладнання БВС за допомогою відомого методу критеріальних поверхонь [6...8]. Результатами розв'язання задачі є варіанти БВС (область ефективних рішень), що оптимальні за критеріями маси  $M^o$  та вартості  $S^o$  обладнання.

Визначення єдиної точки, яка є оптимальним варіантом побудови БВС в області ефективних рішень, здійснюється за результатами розв'язання задачі оптимального розміщення системи у області  $\bar{R}$  монтажного простору ЛА.

Оптимальним розміщенням обладнання у області  $\bar{R}$  монтажного простору ЛА є знаходження таких варіантів обладнання БВС з області ефективних рішень, що мають мінімальні показники маси  $M^p(\bar{R})$  та вартості  $S^p(\bar{R})$  міжмодульних мереж [8, 9].

За результатами складання двох показників, які характеризують оптимальне розміщення  $M^p$  та  $S^p$  з відповідними показниками, що характеризують  $M^o$  та  $S^o$  оптимальність складу обладнання, визначаються дві точки з мінімальною масою  $M$  та вартістю  $S$  БВС.

Для знаходження єдиного варіанта побудови БВС, доцільно використовувати підхід, що побудований на методології найменших квадратів. Сутність підходу полягає у знаходженні мінімального віддалення отриманих точок, від точок у області ефективних рішень. Мінімальне віддалення визначимо за допомоги похибок  $e_m$  та  $e_s$ , що характеризують близькість до отриманих точок з мінімальною масою  $M^o$  та вартістю  $S^o$  відповідно:

$$\{e_m^*; e_s^*\} = \arg \min_{\substack{e_m \in M \\ e_s \in S}} V(e_m, e_s), \quad (3)$$

де  $V(e_m, e_s)$  - міра близькості отриманих рішень до точок у області ефективних рішень щодо складу обладнання БВС відповідно.

Для загального випадку, отримаємо

$$\{e_m^*; e_s^*\} = \arg \min_{\substack{e_m \in M \\ e_s \in S}} (e_m(M, S), e_s(M, S))^2 \quad (4)$$

Отже, задача векторної (4) оптимізації формально зводиться до задачі лінійного програмування.

Таким чином, побудова БВС полягає у заходженні оптимального складу системи та розміщенню даної системи у монтажному просторі ЛА (рис.1).

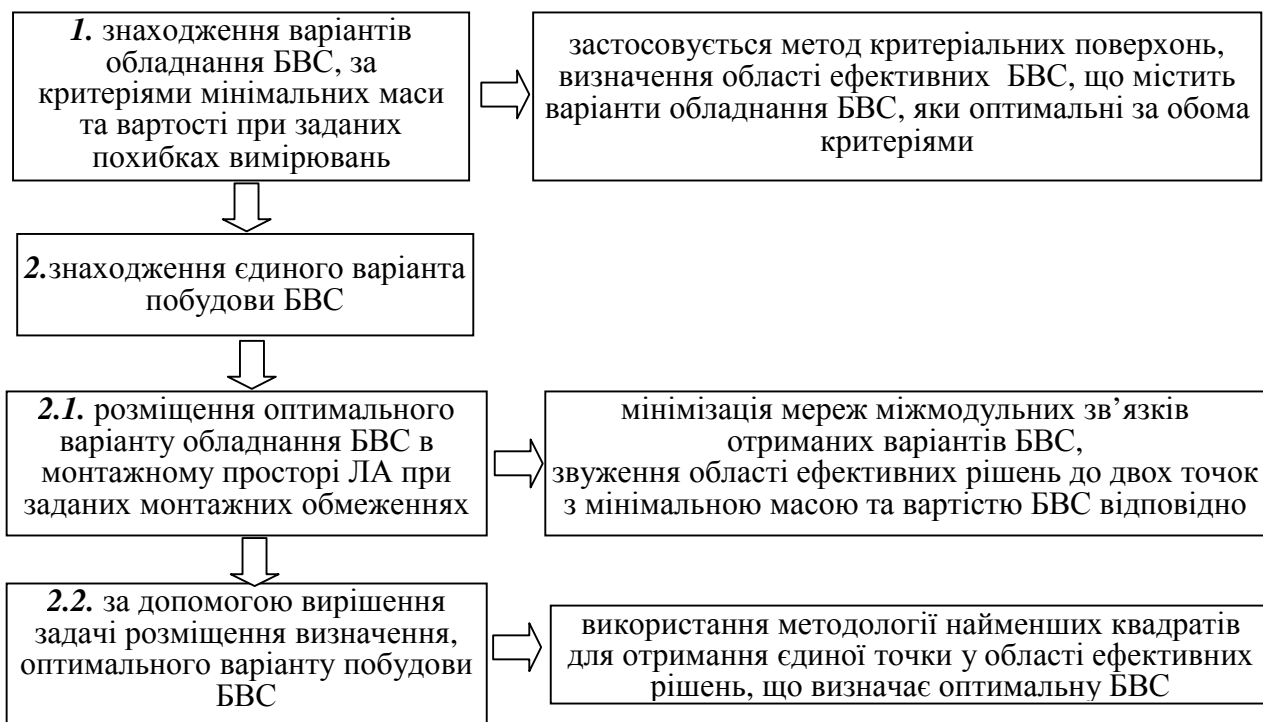


Рис. 1. Алгоритм щодо оптимальної побудови бортових вимірювальних систем

Результатом розв'язання задачі (1) є єдина точка, що визначає оптимальний варіант побудови БВС за обраними критеріями та за умови дотримання обмежень.

При практичному застосуванні запропонований методичний підхід дає можливість отримати оптимальний варіант бортової вимірювальної системи з мінімальною вартістю та масою при заданому рівні похибки вимірювань та визначених монтажних обмеженнях. Застосування даного підходу унеможливорює вплив суб'єктивних чинників щодо побудови БВС.

## ВИСНОВКИ

1. Запропонована методика щодо побудови БВС є повністю формалізованим шляхом отримання оптимального варіанта бортової вимірювальної системи з мінімальною вартістю та масою при заданому рівні похибки вимірювань і визначених монтажних обмеженнях.

2. Застосування методу критеріальних поверхонь є науковою основою ефективного (у змісті обчислень) визначення варіантів формування складу обладнання БВС, при яких забезпечується оптимальність (по Парето) суперечливих критеріїв вартості й маси системи.

3. Запропонований у статті підхід є засобом визначення єдиного оптимального варіанта БВС (єдиної точки у області ефективних рішень) без застосування відомих схем компромісів і полягає у врахуванні маси та вартості міжмодульної мережі кожного з варіантів БВС.

4. Проведені в даній статті міркування, виклади та докази є у достатній мірі коректними. Тому практична реалізація даного методичного підходу, його безпосереднє застосування не повинно визвати труднощі, які ускладнять чи навіть унеможливають це.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Безпека авіації. За редакцією В.П.Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. Воробьева В.Г., Глухов В.В., Кадышев И.К. Авиационные приборы и информационно-измерительные системы и комплексы. – М.: Транспорт, 1992. – 399с.
3. Новопашный Г.Н. Информационно-измерительные системы. М.: Высшая школа, 1977. – 208с.
4. Витгих В.А., Цыбатов В.А. Оптимизация бортовых систем сбора и обработки данных. – М.: Наука, 1985. – 240с.
5. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. Основы теории расчета информационно-измерительных систем. – М.: Машиностроение, 1980. – 280с.
6. Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Харченко А.В., Осташевский В.В. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / – Харьков: Факт, 1997. – 240с.
7. Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Козлов А.И., Чабанюк В.С. Векторная оптимизация динамических систем. – К.: Техніка, 1999. – 282 с.
8. Вознюк М.М., Єрко В.Б. Методичний підхід щодо формалізації процедури розміщення обладнання в монтажному просторі літального апарату.// Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. Випуск №4(11). – К.: ДНДІА, 2008, – с. 25-29.
9. Єрко В.Б. Методика синтезу бортових інформайно-вимірювальних комплексів літальних апаратів.// Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. Випуск №6(13). – К.: ДНДІА, 2010, – с. 36-40.

*Надійшла до редакції 29.10.2011*