

УДК 621.518.3

**ВОЗНЮК М.М.**, заступник начальника науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**ЄРКО В.Б.**, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу  
**БАБКІНА Т.В.**, науковий співробітник науково-дослідного відділу

## **ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТУ ВЕКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПОБУДОВІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ**

*У статті запропоновано використання багатокритеріального методичного підходу побудови інформаційно-вимірювальних систем, який забезпечує мінімізацію ресурсних витрат на їх створення при практичній реалізації.*

*Ключові слова:* інформаційно-вимірювальна система, апарат векторної оптимізації.

На сучасному етапі розвитку Збройних Сил (ЗС) України в умовах вичерпання установлених показників військової авіаційної техніки (АТ) та переходу на експлуатацію за технічним станом пріоритетним питанням є забезпечення достовірності контролю її технічного стану (ТС) для забезпечення відповідного рівня надійності, боєдатності і безпеки польотів.

Засоби контролю ТС літальних апаратів (ЛА) та його систем, що стоять на озброєнні Повітряних Сил ЗС України в даний час не відповідають вимогам щодо достовірності, повноти контролю та відсотку “помилкових” відмов при заданому коефіцієнті глибини діагностування [1...4].

Тому, сьогодні, при експлуатації старіючого парку АТ, вирішення даних завдань в комплексі можливо тільки при розробці та впровадженні сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). Але, встановлення ІВС на борту ЛА може збільшувати його масу і, як наслідок, зміщувати центровку літака, що є небажаним. Також, за умов зменшення похибок вимірювань та покращення принципів функціонування обладнання таких систем, зростають витрати на їх створення.

Отже, актуальність обраної тематики обумовлена об’єктивними потребами оптимізації показників маси та вартості при побудові ІВС.

Постановка задачі: Задана множина можливих рішень  $\bar{s} \in E$  скінченномірною евклідового простору  $E$ , що складається з вектору похибок  $\bar{s} = \{s_i\}_{i=1}^n$   $i$  – тих вимірних параметрів ЛА, які характеризують його технічний стан. Необхідно знайти такий варіант обладнання ІВС, що здійснює вимірювання з похибками  $\bar{s}^* \leq \bar{s}^3$  ( $\bar{s}^*$  – оптимальні значення похибок вимірювань,  $\bar{s}^3$  – вектор обмежень на похибки вимірювань) та має оптимальні масу  $M^0$  і вартість  $S^0$ .

Формалізована постановка задачі набуває виду

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

Задача (1) відноситься до класу задач векторної оптимізації [5, 6], її сутність полягає у знаходженні області ефективних рішень стосовно складу обладнання ІВС за допомогою відомого методу критеріальних поверхонь [6, 7]. Результатами розв'язання задачі є оптимальні за критеріями маси  $M^o$  та вартості  $S^o$  варіантів обладнання ІВС (область ефективних рішень) при заданому рівні похибок вимірювань параметрів ТС ЛА.

Похибки параметрів, що вимірюються ІВС, є координатами точок у багатомірному просторі, який утворений критеріальними функціями. Іншими словами, будь-яка ІВС може бути формально описана координатами точок в багатомірному просторі похибок  $\bar{s}$  вимірювань параметрів. Рівняння існування визначає у цьому просторі область технічно реалізуємих варіантів ІВС. Кожній точці даної області необхідно поставити у відповідність чисельні значення показників маси  $M^o$  та вартості  $S^o$  обладнання варіанта ІВС.

У задачах вибору рішення, що формалізуються у вигляді моделі векторної оптимізації, першим кроком слід вважати визначення області компромісів (або рішень, оптимальних за Парето).

У практичній діяльності широке поширення одержало завдання значимих параметрів похибок вимірювань за допомогою припустимого діапазону, у вигляді  $[s_{min}; s_{max}]$ . Це природно тому, що найбільш інформативним, з погляду одержання значень критеріальних функцій, є бінарне завдання їх аргументів[6].

У випадку  $m$ -мірного критеріального простору кількість можливих сполучень бінарного способу завдання параметрів становить  $2^m$ , при необхідній умові визначеності системи [6]

$$2^m \geq \frac{(m+1)(m+2)}{2}, \quad (2)$$

яка виконується для  $m \geq 4$ . У випадку, коли  $m < 4$  – можливе додавання третьої точки до області завдання параметрів, при цьому умова визначеності приймає вигляд:

$$3^m \geq \frac{(m+1)(m+2)}{2}$$

і виконується для усіх  $m \geq 1$ .

В прикладних дослідженнях [6, 7] відпрацьовано і широко використовується, ряд високоефективних алгоритмів рішення завдання екстремізації (мінімізації). У більшості практичних випадків вимоги щодо простоти функції апроксимації та її прогностичних якостей виконуються при використанні апроксимаційних поліномів другого ступеню. При їх застосуванні цільова функція і припустима множина рішень є опуклими. Дані обставини є переконливим доводом на користь вибору для апроксимації критеріальної функції поліномів другого ступеню. Для зручності подальших міркувань будемо користуватися матричним видом критеріальних функцій маси та вартості

$$\begin{aligned} S^O(\mathbf{s}) &= A_0^1 + 2A_1^1 \mathbf{s} + \mathbf{s}^T A_2^1 \mathbf{s} \\ M^O(\mathbf{s}) &= A_0^2 + 2A_1^2 \mathbf{s} + \mathbf{s}^T A_2^2 \mathbf{s} \end{aligned} \quad (3)$$

У (3) верхні індекси  $A$  відповідають критерію маси  $M$  або вартості  $S$ .

Використовуючи правила диференціювання матричних виразів за скалярним аргументом [6], отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{\partial S^O(\mathbf{s})}{\partial \mathbf{s}} &= 2A_1^1 + 2\mathbf{s}^T A_2^1 \\ \frac{\partial M^O(\mathbf{s})}{\partial \mathbf{s}} &= 2A_1^2 + 2\mathbf{s}^T A_2^2 \end{aligned} \quad (4)$$

де  $A_0 = a_{00}$  – вільний член апроксимуючого полінома;  $A_1 = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_m]$  – вектор апроксимуючих коефіцієнтів при першому ступені аргументів (похибок), які

не перемножуються між собою;  $A_2 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1m} & a_{2m} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix}$  – симетрична квадратна

матриця при другому ступені похибок, а також при параметрах, які перемножуються

один на одного;  $\mathbf{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_m \end{bmatrix}$  – вектор-стовпець похибок параметрів;

$\mathbf{s}^T = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_m]$  – транспонований вектор-стовпець значень похибок каналів вимірювання параметрів.

Здійснивши певні перетворення [7], одержимо значення координат безумовних мінімумів для критеріальних функцій вартості  $S^O(\mathbf{s})$  – точка  $A (opt s_1^1, opt s_2^1)$  та маси  $M^O(\mathbf{s})$  – точка  $B (opt s_1^2, opt s_2^2)$  (Рис. 1).

Таким чином, можливо стверджувати, що варіанти побудови бортової ІВС із

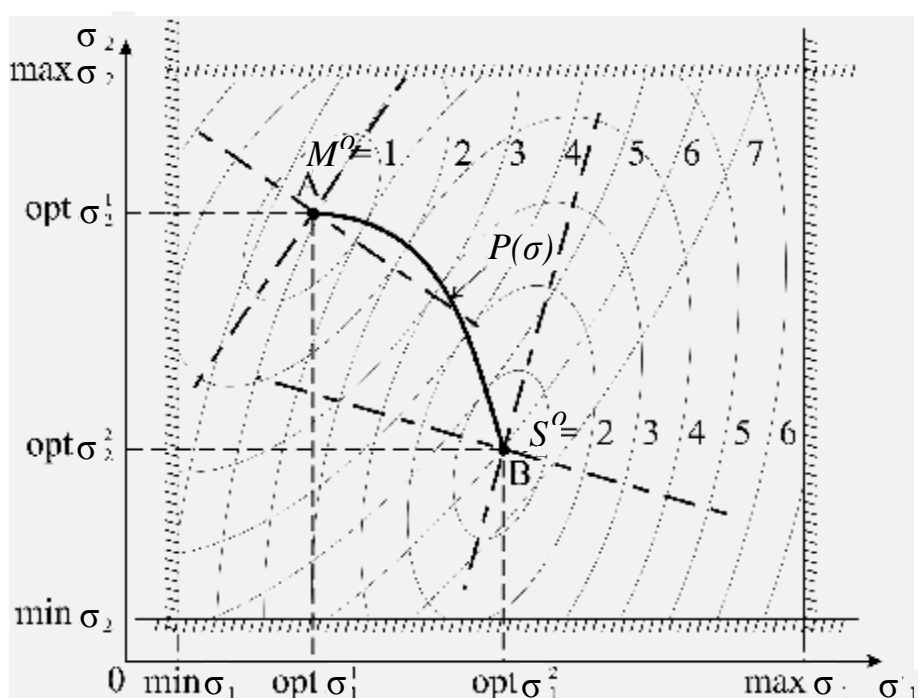


Рис. 1. Знаходження координат безумовних мінімумів критеріїв маси  $M^0$  та вартості  $S^0$  при бінарному завданні їх аргументів  $\sigma$

значеннями параметрів маси та вартості, що відповідають точкам  $A (opt S_1^1, opt S_2^1)$  та  $B (opt S_1^2, opt S_2^2)$  є оптимальними за критеріями вартості

$S^0(s)$  і маси  $M^0(s)$  обладнання ІВС. Це справедливо лише в тому випадку, якщо дані точки належать області припустимих рішень. У разі, коли цього не відбувається необхідно проводити додаткові дослідження, засновані на методі множників Лагранжа, та вводити істотні обмеження [7].

Визначення єдиної точки, яка є оптимальним варіантом побудови ІВС в області ефективних рішень, можливо здійснити будь-якою схемою компромісів або за допомогою залучених експертів.

Для практичної реалізації підходу використано прикладне програмне забезпечення власної розробки.

Розглянемо систему, що складається з п'яти вимірювальних каналів для визначення ТС вертольота типу Мі-8. Для кожного каналу, відповідно, задано обмеження на похибки вимірювань:  $\sigma_1=(0,5\dots3,0)$ ;  $\sigma_2=(4,0\dots6,5)$ ;  $\sigma_3=(6,0\dots15,0)$ ;  $\sigma_4=(4,0\dots9,0)$ ;  $\sigma_5=(9,0\dots15,5)$ . Враховуючи (2), кількість можливих сполучень завдання значень похибки становить 32 варіанти.

За відомими алгоритмами [6,7] проведено розрахунки. Аналіз отриманих за результатами розрахунків п'ятимірних критеріальних поверхонь показав, що функціям маси  $M^0(s)$  та вартості  $S^0(s)$  обладнання ІВС відповідають п'ятимірні еліпсоїди, центри яких розташовані у точках  $A$  та  $B$  з координатами т.  $A(0,98; 4,23; 7,3; 4,35; 9,3)$  і т.  $B(1, 8; 6,2; 12,7; 7,8; 15,7)$

В таблиці 1 наведено варіанти розв'язання прямої задачі двокритеріальної оптимізації для бортової ІВС, що складається з п'яти вимірювальних каналів.

Таблиця 1

Результати розрахунків оптимальної п'ятиканальної інформаційно-вимірювальної системи.

№ Системи	Значення похибок, що оптимізуються					Критерії	
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$	$\sigma_5$	маса	вартість
1	1,2	4,5	8,0	6,0	10,1	2,7	14,29
2	1,4	4,7	8,8	6,1	11,2	2,89	13,6
3	1,6	4,8	8,9	6,8	13,4	2,94	10,8
4	1,8	4,9	9,8	7,1	14,1	3,14	9,71
5	1,9	5,1	11,1	7,5	14,2	3,32	8,16
6	2	5,2	12,0	8,0	14,7	3,87	7,32

Таким чином, за отриманими розрахунками визначено оптимальні варіанти ІВС (область ефективних рішень) та повністю формалізованим шляхом отримано варіанти бортової інформаційно-вимірювальної системи з оптимальними показниками вартості та маси обладнання при заданому рівні похибки вимірювань.

Приведений підхід побудови бортових ІВС дозволяє вирішити актуальне завдання мінімізації витрат на створення інформаційного забезпечення старіючого парку ВАТ при його експлуатації за технічним станом.

При практичному застосуванні запропонований підхід дає можливість отримати оптимальний варіант бортової інформаційно-вимірювальної системи з мінімальною вартістю та масою при заданому рівні похибки вимірювань. Застосування даного підходу практично виключає вплив суб'єктивних чинників щодо побудови ІВС.

### Висновки

1. Запропонований до використання багатокритеріальний підхід побудови ІВС є засобом можливого визначення їх оптимальних варіантів (область ефективних рішень) та дозволяє повністю формалізованим шляхом отримати варіант бортової інформаційно-вимірювальної системи з оптимальними показниками вартості та маси обладнання при заданому рівні похибки вимірювань.

2. Використання методу критеріальних поверхонь є науковою основою ефективного (щодо обчислень) визначення варіантів формування складу обладнання ІВС, при яких забезпечується оптимальність (за Парето) суперечливих критеріїв вартості та маси системи.

3. Наведені в статті міркування, викладки та докази є у достатній мірі коректними. Тому практична реалізація даного методичного підходу, його безпосереднє застосування не повинно мати труднощі, які ускладнять чи навіть унеможливають це.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Цапенко М.П., Измерительные информационные системы. – М.: Транспорт, 1985. – 357с.

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. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. Основы теории расчета информационно-измерительных систем. – М.: Машиностроение, 1980. – 280с.
5. Знаменская А.М., Лимар П.С., Шведов В.П. Информационно-измерительные системы для проведения летных испытаний самолетов и вертолетов. – М.: Машиностроение, 1984. – С.152.
6. Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Харченко А.В., Осташевский В.В. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / – Харьков: Факт, 1997. – С.240.
7. Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Козлов А.И., Чабанюк В.С. Векторная оптимизация динамических систем. – К.: Техніка, 1999. – 282 с.

*Надійшла до редакції 15.10.2012*