

УДК 621.391.1 : 623.74.4

КОНОНОВ О.А., заступник начальника інституту, доктор технічних наук, доцент
ЄРКО В.Б., начальник науково-дослідної лабораторії

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ СКЛАДУ І РОЗМІЩЕННЯ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Приведено основні положення розв'язання задачі багатокритеріального вибору складу і розміщення варіанту бортового обладнання (БО) літальних апаратів (ЛА) військового призначення при їх модернізації

Ключові слова: бортове обладнання, військова авіаційна техніка, модернізація, задача багатокритеріального вибору

Розширення бойових можливостей ЛА військового призначення за рахунок оновлення складу БО, оснащення новітніми розробками у галузі електроніки та приладобудування є сучасною світовою тенденцією.

Однак не всі проекти модернізації ЛА військового призначення можна вважати однаково успішними. Можливість забезпечення істотного покращення рівня технічної досконалості, основних тактико-технічних характеристик, які визначають бойову ефективність, при відносно невеликих витратах як у програмі модернізації літаків В-52Н до рівня Pacer Plank [1], F-16 до рівня Block 50/52 [2, 3], не можна порівняти з ефективністю реалізації програм модернізації МиГ-21 за варіантом МиГ-21-93, MiG-21-2000, коли при витратах у 4 млн. доларів на один літак вдалося забезпечити приріст бойових можливостей лише на 0,25 одиниць[4].

Слід визнати, що ця проблемна ситуація має багато причин, але однією з головних серед них є проблема неоптимального (у деяких випадках, навіть, неадекватного) суб'єктивного вибору складу і розміщення БО при модернізації.

Складність вибору визначається кількістю можливих варіантів, яка факторіально збільшується із ростом кількості розроблених нових зразків БО. Так, при заміні п'яти видів зразків обладнання ($n=5$) на нові із 6 можливих зразків кожного виду ($m=6$) існує $N=n^m \cdot n! = 1875000$ можливих варіантів складу й розміщення. Для $n=10$ і $m=8$ ця кількість вже складе $3,63 \cdot 10^{14}$ варіантів. Отже, зі збільшенням кількості варіантів пропорційно збільшується ймовірність можливого невдалого суб'єктивного вибору.

У найближчій перспективі ситуація буде загострюватись: перехід на нову мікроелектронну елементну базу збільшить кількість виробників та, відповідно, різних за технічними рішеннями але конкурентоздатних зразків БО, а природне зменшення ресурсних показників старіючих ЛА, що обмежує бюджет програм модернізації, значно ускладнить пошук варіантів складу і розміщення БО.

Для України це може негативно вплинути на виконання національної програми модернізації ЛА військового призначення, яка визнана базисною для забезпечення

відповідного бойового потенціалу авіації Збройних Сил України у найближчій та середньостроковій перспективі.

Є очевидним, що подальший розвиток методичного апарату підтримки прийняття управлінських рішень щодо вибору варіанту БО у рамках традиційного підходу оптимізації рішень “у малому” не є доцільним: принципові обмеження даного підходу обмежують функціональність прикладних практично-орієнтованих методик [5, 6].

Якісне покращення можливостей з вибору складу БО при модернізації ЛА безпосередньо пов'язане з впровадженням оптимізації рішень “у великому”, насамперед, з ідеологією багатокритеріального вибору. Методологічні основи для цього вже існують – розроблено загальну схему формалізації задач багатокритеріального вибору, досліджено специфічні методи їх розв'язання [7...11], але недостатньо розробленою залишається область досліджень щодо врахування особливостей конкретної предметної галузі, її властивостей, вимог та обмежень при реалізації загальних методів багатокритеріального вибору. Слід відмітити, що врахування специфіки модернізації ЛА військового призначення при проведенні багатокритеріального вибору варіантів заміни БО розроблено явно недостатньо. Таким чином, метою статті є представлення результатів особистих досліджень авторів щодо можливості здійснення багатокритеріального вибору складу і розміщення БО ЛА військового призначення при їх модернізації без використання зовнішньої суб'єктивної додаткової інформації.

У загальному вигляді задачу вибору складу і розміщення БО при модернізації ЛА військового призначення можна представити сукупністю двох основних елементів

$$\langle \Omega_{\bar{x}} , I \rangle, \quad (1)$$

де $\Omega_{\bar{x}}$ - це множина n -мірних векторів можливих варіантів складу й розміщення БО парку \bar{X}_i ($i=1..N$) та відповідних їм M -мірних векторів параметрів \bar{A}_i (значення компонент \bar{A}_i визначається векторами характеристик \bar{a}_j конкретних зразків обладнання x_j , з яких саме здійснюється вибір ($j=1..n$)); I – система переваг (преференцій) людини, що приймає рішення (ЛПР), за якою здійснюється вибір варіантів, тобто множина відношень переваги одного варіанту над іншим ($\bar{X}_i > \bar{X}_j$) за їх показниками \bar{A}_i, \bar{A}_j .

Тоді завдання вибору полягає у визначенні множини таких варіантів $\Omega_{\bar{x}}^*$, які є найкращими у множині $\Omega_{\bar{x}}$ відносно системи переваг (преференції) ЛПР I .

Особливостями задачі, що розглядається, є:

відсутність серед зразків обладнання таких, що мають перевагу перед іншими за всіма характеристиками \bar{a}_j , тобто вибір здійснюється лише серед конкурентних зразків обладнання;

відсутність за будь-якою формою зовнішньої додаткової інформації для відшукування компромісного рішення, тобто розглядається вибір без впливу суб'єктивного чиннику.

Таким чином, розглядається задача багатоцільового вибору в умовах кінцевої множини варіантів, повної початкової детермінованої інформації про варіанти і відсутності зовнішньої додаткової інформації. Істотною вимогою до її розв'язання є намагання отримати процедури, що придатні для прикладного застосування, а не абстрактний математичний метод рішення. Саме тому, важливим є врахування обчислювальних обмежень і вимоги отримання необхідної для ЛПР невеликої за потужністю множини ефективного вибору $\Omega_{\bar{X}}^*$.

Першим етапом розв'язання задачі (1) є формування векторного критерію $\bar{J}(\bar{X})$, що адекватно відображає I - систему переваг ЛПР. При цьому, обраний підхід до пошуку множини $\Omega_{\bar{X}}^*$ не передбачає використання будь-яких згорток, введення суб'єктивних вагових коефіцієнтів, пріоритетів при визначенні вектору критерію вибору. Тому авторами пропонується формувати векторний критерій вибору $\bar{J}(\bar{X})$ з компонент векторів параметрів \bar{A}_i , що описують властивості кожного з варіантів \bar{X}_i , за структурою

$$\bar{J}(\bar{X}_i) = \begin{bmatrix} \bar{J}_o(\bar{A}_i(\bar{X}_i)) \\ \bar{J}_r(\bar{A}_i(\bar{X}_i)) \\ \bar{J}_a(\bar{A}_i(\bar{X}_i)) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де, $\bar{J}_o(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ - вектор “цільових” компонент $\bar{J}(\bar{X}_i)$, які характеризують тактико-технічні властивості ЛА, як засобу виконання бойових завдань (наприклад, дальність розпізнавання цілей, кількість цілей для одночасного спостереження й прицілювання, діапазон умов застосування авіаційних засобів ураження, що забезпечується, тощо); $\bar{J}_r(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ - вектор “ресурсних” компонент $\bar{J}(\bar{X}_i)$, які визначають ресурсні витрати на реалізацію даного варіанта заміни БО (передусім, вартість обладнання, вартість періодичних робіт, середні експлуатаційні витрати, тощо); $\bar{J}_a(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ - вектор “гомеостазисних” компонент $\bar{J}(\bar{X}_i)$, які характеризують пілотажні та льотно-технічні властивості ЛА, рівень безпеки польотів за умови обрання даного варіанту БО (наприклад, відхилення польотної маси ЛА від номінальної, відхилення центрування ЛА від номінального, відхилення електричної потужності споживачів від номінальної, тощо).

Запропонована структура $\bar{J}(\bar{X}_i)$ відповідає суперечливим цільовим установкам ЛПР при виборі варіанту БО для модернізації:

по-перше, обраний варіант повинен забезпечити найкращі тактико-технічні властивості ЛА, як засобу виконання бойових завдань;

по-друге, обраний варіант повинен мати найменші ресурсні витрати при реалізації;

по-третє, обраний варіант повинен якомога менше вплинути на льотно-технічні властивості ЛА та рівень безпеки польотів.

Крім того, для умов задачі, що розглядається, визначено, що компоненти “цільової” і “ресурсної” частини $\bar{J}(\bar{X}_i)$ лінійно залежать від значень компонент векторів \bar{A}_i , а для “гомеостазисної” частини дану залежність доцільно розглядати у вигляді функцій штрафу.

Загальна методологія багатокритеріального вибору полягає у формуванні множини Парето варіантів вибору та його уточненням (скороченням) на основі додаткової інформації і специфічних особливостей предметної області, що розглядається. Відома процедура формування множини Парето $\Omega_{\bar{X}}^i$ передбачає послідовний розгляд й порівняння варіантів для задачі (1) та потребує $\frac{1}{2} \cdot M \cdot N \cdot (N-1)$ операцій порівняння. Значною складністю її прикладної реалізації є необхідність здійснення операцій з великими за потужністю множинами можливих варіантів.

Для подолання зазначеного методичного обмеження авторами пропонується реалізувати схему послідовного вибору до визначення множини Парето варіантів. Пропонується на першому етапі знайти множину варіантів, які є не гіршими відносно $\bar{J}_a(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$, тобто

$$\bar{X}_i \in \tilde{\Omega}_{\bar{X}}: \bar{J}_a(\bar{A}_i(\bar{X}_i)) \leq \bar{J}_a(\bar{A}_j(\bar{X}_j)), \quad i = 1..N, \quad i \neq j. \quad (3)$$

На другому етапі – реалізувати відому ітераційну процедуру пошуку елементів множини Парето варіантів серед $\tilde{\Omega}_{\bar{X}}$.

Принциповою основою для застосування схеми послідовного вибору в предметній галузі, що розглядається, є можливість розділення множини варіантів $\Omega_{\bar{X}}$ на дві різні за потужністю множини варіантів: множини, елементи якої мають перевагу за $\bar{J}_a(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ та, які не мають такої переваги. Так як потужність множини $\tilde{\Omega}_{\bar{X}}$ є значно меншою потужності множини $\Omega_{\bar{X}}$, то реалізація запропонованої схеми послідовного вибору дозволить у $\frac{M}{M_a}$ разів (де M_a - кількість компонент $\bar{J}_a(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$) зменшити кількість необхідних операцій для визначення $\Omega_{\bar{X}}^i$ і практично реалізувати процедуру багатокритеріального вибору БО для ЛА військового призначення при їх модернізації.

Згідно з методологією багатокритеріального вибору [9], відшукування множини Парето, тобто множини компромісних рішень відповідно до заданого векторного критерію, вже є математично обґрунтованим достатнім розв'язанням поставленої задачі. Для його подальшої конкретизації, згідно з принципом Еджворта-Парето [10], необхідним є використання додаткової інформації.

З метою отримання практично важливого рішення задачі багатокритеріального вибору без залучення зовнішньої (суб'єктивної) додаткової інформації авторами запропоновано розглянути для кожного варіанту, що належить множині Парето $\bar{X}_i \in \Omega_{\bar{X}}^i$, інтегральні характеристики

$$\mu(\bar{X}_i) = \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{k=1}^M (J_k(A_k(\bar{X}_i)) - J_k(A_k(\bar{X}_j)))^2, \quad (4)$$

де N_j - це кількість елементів у множині Парето.

Характеристика (4) є сумарною евклідовою відстанню у M - мірному просторі між точкою, що відповідає варіанту \bar{X}_i , і точками, що відповідають іншим варіантам, та відображає його принципові особливості.

Так, варіанти \bar{X}_i з множини $\Omega_{\bar{X}}^i$, характеристики $\mu(\bar{X}_i)$ яких не мають великих значень, є компромісами, де за рахунок погіршення одних тактико-технічних

показників досягається покращення впливом інших. Різниця між варіантами даної групи полягає у форматі взаємної компенсації змін параметрів.

Навпаки, варіанти $\bar{X}_i \in \Omega_{\bar{X}}^i$, у яких величини характеристики $\mu(\bar{X}_i)$ значно більші середнього, мають особливу вагу для ЛПР при прийнятті рішення. Саме ці варіанти здатні забезпечити екстремальні можливості ЛА як зразка озброєння і військової техніки, наприклад найбільшу дальність визначення цілей, найбільшу номенклатуру засобів ураження для використання, найбільший діапазон умов застосування засобів ураження, тощо.

Для предметної галузі, що розглядається, саме вибір таких варіантів є умовою значного підвищення бойових можливостей ЛА після модернізації, а функція ЛПР полягає в обранні найбільш перспективного варіанту із визначених.

Таким чином, наведена методика дослідження підтверджує існування теоретичної можливості зменшення негативного впливу суб'єктивного чинника на результати вибору варіантів БО ЛА військового призначення при модернізації. Методичною основою для підвищення рівня об'єктивності прийняття рішень в процесі модернізації ЛА військового призначення є запропоновані авторами структура векторного критерію вибору, процедура послідовного вибору варіанту модернізації із врахуванням специфічних особливостей предметної галузі, що розглядається.

ЛІТЕРАТУРА

1. Подольний Е. Крепость в стратосфере // Крылья Родины. – М., 1995. – №2. – С. 14-17.
2. LM F-16. Is ready for the future. As World's most advanced 4th Gen fighter // ASDNews, Jul 21, 2010.
3. Бобков А. БРЭО тактического истребителя F-16 / А. Бобков // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 12. – С.50–57.
4. Бурковський С.І. Досяжний рівень модернізації літаків МиГ-21 / С.І. Бурковський, С.І.Смик, Д.А.Півнів // Системи озброєння і військова техніка, ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2011. – № 1(25). – С.8–11.
5. Єрко В.Б. Застосування апарату векторної оптимізації при побудові інформаційно-вимірювальних систем для експлуатації військової авіаційної техніки за технічним станом / М.М. Вознюк, В.Б.Єрко, Т.В.Бабкіна // Збірник наукових праць ДНДІА. – 2012. – № 8(15). – С. 183 – 188.
6. Єрко В.Б. Науково-методичний підхід щодо побудови бортових вимірювальних систем для оцінювання технічного стану бортового обладнання літальних апаратів, які експлуатуються за стратегією технічного обслуговування “за станом” / В.Б.Єрко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2013. – № 3 (12). – С. 44 – 48.
7. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1992.— 504 с: ил.
8. Кини Р. Л. и Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981.

9. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход (2-е изд.). – М.: Физматлит, 2005 .
10. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982.
11. Артюшин Л.М., Зиятдинов Ю.К., Попов И.А., Харченко А.В. Большие технические системы. Проектирование и управление. Под ред. И.А.Попова. – Харьков: Факт, 1997. – 400 с.

Надійшла до редакції 05.11.2016.

Рецензент: СНС Кубарь С.В.