

УДК 621.391.1 : 623.74.4

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

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИК БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Приведено результати дослідження щодо особливостей застосування методик багатокритеріального вибору варіантів модернізації бортового обладнання літальних апаратів військового призначення

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

Розширення бойових можливостей коштом оновлення складу бортового обладнання є сучасною світовою тенденцією, економічно ефективним шляхом модернізації літальних апаратів військового призначення.

Перехід на мікропроцесорну елементну базу систем бортового обладнання останніх років, з одного боку, суттєво розширює кількість виробників бортового обладнання та конкурентних зразків для вибору, а з іншого боку, природне закінчення експлуатаційного ресурсу літальних апаратів значно обмежує бюджет програм модернізації й визначає надзвичайне збільшення ролі суб'єктивного чинника в результатах вибору. З'ясовується, що в цих умовах достатньо врахування навіть незначної кількості додаткової зовнішньої інформації може бути сприятливою для вибору варіанту бортового обладнання не найкращого з точки зору інтересів замовника.

Прояви цього ефекту було помічено ще при виконанні програм модернізації літаків В-52Н до рівня Racer Plank [1], F-16 до рівня Block 50/52 [2, 3], МиГ-21 до варіантів МиГ-21-93, MiG-21-2000 [4], а прискорене впровадження сучасної цифрової елементної бази в зразки бортового обладнання вказує на надзвичайне загострення ситуації вибору вже найближчого часу. Для України існує небезпека, що невдалий вибір може вкрай негативно вплинути на виконання національної програми модернізації літальних апаратів військового призначення, які повинні забезпечити бойовий потенціал авіації Збройних Сил України на короткострокову й середньострокову перспективу.

Системне подолання цієї ситуації полягає, на наш погляд, у реалізації багатокритеріального підходу до проблематики вибору. У цьому підході функція методичного апарату зводиться до виділення з множини можливих варіантів вибору тих альтернатив, що не мають переваг перед іншими, а функція безпосереднього вибору серед залишених конкурентних варіантів покладається на особу, що відповідає за прийняття кінцевого рішення.

Слід зазначити, що в цьому науковому напрямі вже розроблено методологічні основи багатокритеріального вибору, універсальні (наприклад, методики вибору з використанням цільової точки [5...9], методики вибору з використанням згортки

критеріїв [5, 6, 9, 10]) і спеціалізовані методики (насамперед, методика вибору, що описана в [11] яка, на відміну від універсальних методик, не передбачає введення додаткової зовнішньої інформації в процедуру вибору), які залишаються недостатньо дослідженими щодо їх можливостей, особливостей і специфіки застосування у конкретних прикладних випадках, до яких відноситься й випадок вибору складу бортового обладнання при модернізації літальних апаратів військового призначення. Тому метою цієї статті є представлення результатів особистих досліджень авторів щодо виявленої закономірності застосування різних методик багатокритеріального вибору для зазначеної предметної області.

При проведенні дослідження випадку детермінованого вибору в умовах наявної повної апріорної інформації варіантів бортового обладнання на прикладі літака Су-24МР було виявлено, що при невеликій потужності множини варіантів Парето, методика вибору з використанням згортки критеріїв і спеціалізована методика вибору виявляли дуже близькі результати. І навпаки, у випадках наявності значної за потужністю множини варіантів Парето, результативність зазначених методик істотно відрізнялася. Було з'ясовано, що межею виникнення цього ефекту для випадку модернізації 6 бортових систем літака Су-24МР ($n=6$) при виборі з 3 можливих зразків обладнання для кожної системи ($m=3$) є наявність у множині Парето понад 60 варіантів ($\tilde{N} > 60$).

Прикладна важливість зазначеного ефекту полягає в тому, що він може безпосередньо вплинути на обґрунтованість рішень при застосуванні багатокритеріального вибору варіантів бортового обладнання для літальних апаратів військового призначення: результати вибору можуть залежати від обрання тієї чи іншої методики реалізації вибору, що свідчить про можливий негативний зовнішній вплив на кінцеві результати.

Авторами знайдено аналітичне обґрунтування виявленої залежності результатів застосування зазначених методик від потужності множини Парето-варіантів.

Для методики вибору з використанням згортки критеріїв правило визначення пріоритету деяких варіантів, що представлені векторами $\bar{X}_i, \bar{X}_j, \bar{X}_i, \bar{X}_j \in \Omega_{\bar{X}}$, (для випадку мінімізації значення) має вигляд:

$$\bar{X}_i \succ \bar{X}_j : W(\bar{X}_i) < W(\bar{X}_j), \quad (1)$$

де $\Omega_{\bar{X}}$ – кінцева множина n -мірних векторів можливих варіантів складу бортового обладнання \bar{X}_i ($i=1..N$); $W(\dots)$ – згортка часткових критеріїв, яка визначається співвідношенням:

$$W(\bar{X}_i) = \sum_{k=1}^R K_k \cdot J_k(\bar{X}_i), \quad (2)$$

де R – кількість часткових критеріїв $J_k(\dots)$; K_k – ваговий коефіцієнт для часткового критерію $J_k(\dots)$.

Нехай \tilde{N} варіантів \bar{X} , що належать до множини Парето $\bar{X}_i \in \tilde{\Omega}_{\bar{X}}$, $i=1..\tilde{N}$, $\tilde{\Omega}_{\bar{X}} \in \Omega_{\bar{X}}$, упорядковані відповідно до правила (1), тобто для випадку мінімізації виконується умова:

$$W(\bar{X}_1) < W(\bar{X}_2) < W(\bar{X}_3) < \dots < W(\bar{X}_{\tilde{N}}). \quad (3)$$

Ця вимога еквівалентна системі нерівностей:

$$\begin{cases} W(\bar{X}_2) - W(\bar{X}_1) > 0 \\ W(\bar{X}_3) - W(\bar{X}_2) > 0 \\ \dots \\ W(\bar{X}_{\tilde{N}}) - W(\bar{X}_{\tilde{N}-1}) > 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Для методики вибору з використанням згортки критеріїв (2) ця система може бути представлена виразом:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^R K_k (J_k(\bar{X}_2) - J_k(\bar{X}_1)) > 0 \\ \sum_{k=1}^R K_k (J_k(\bar{X}_3) - J_k(\bar{X}_2)) > 0 \\ \dots \\ \sum_{k=1}^R K_k (J_k(\bar{X}_{\tilde{N}}) - J_k(\bar{X}_{\tilde{N}-1})) > 0 \end{cases}. \quad (5)$$

При відомих значеннях $J_k(\bar{X})$ вона є однорідною системою лінійних нерівностей відносно вектора змінних $[K_1 \ K_2 \ \dots \ K_R]^T$ з основною матрицею розмірністю $R \times (\tilde{N} - 1)$:

$$\Delta = \begin{bmatrix} (J_1(\bar{X}_2) - J_1(\bar{X}_1)) & (J_2(\bar{X}_2) - J_2(\bar{X}_1)) & \dots & (J_R(\bar{X}_2) - J_R(\bar{X}_1)) \\ (J_1(\bar{X}_3) - J_1(\bar{X}_2)) & (J_2(\bar{X}_3) - J_2(\bar{X}_2)) & \dots & (J_R(\bar{X}_3) - J_R(\bar{X}_2)) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (J_1(\bar{X}_{\tilde{N}}) - J_1(\bar{X}_{\tilde{N}-1})) & (J_2(\bar{X}_{\tilde{N}}) - J_2(\bar{X}_{\tilde{N}-1})) & \dots & (J_R(\bar{X}_{\tilde{N}}) - J_R(\bar{X}_{\tilde{N}-1})) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Згідно з критерієм Кронекера-Капеллі система нерівностей (5) може бути сумісною тільки у випадку

$$R > (\tilde{N} - 1), \quad (7)$$

тобто, для можливості забезпечення повної тотожності результатів застосування обох методик необхідно, щоб кількість елементів, що складають множину Парето-варіантів була меншою, ніж кількість часткових критеріїв вибору.

Слід зазначити, що ця умова є необхідною. Достатня умова сумісності системи визначається значенням детермінанти матриці Δ і залежить від конкретних величини часткових критеріїв $J_k(\bar{X})$ для кожного з варіантів бортового обладнання.

Умова (7) викриває причину знайденої особливості застосування методик багатокритеріального вибору. При потужності множини Парето-варіантів значно меншій ніж кількість часткових критеріїв у згортці (2) існує безліч варіантів значень вагових коефіцієнтів K_k згортки (2) для забезпечення бажаного порядку пріоритету варіантів (3). На практиці наявність безлічі можливостей для забезпечення порядку пріоритету (3) означає високу ймовірність отримання однакової результативності при застосування обох методик.

Стан справ змінюється при порушенні умови (7): у випадку потужності множини Парето-варіантів більшої ніж кількість часткових критеріїв $J_k(\bar{X})$, не існує жодної можливості знайти такі значення вагових коефіцієнтів K_k згортки (2), щоб забезпечити порядок пріоритетів варіантів (3), який встановлюється відповідно до

іншої методики. Це означає, що користувач, особа, що приймає рішення, у цьому випадку буде отримувати різні результати при застосуванні обох методик в однакових умовах, навіть при повільній корекції вагових коефіцієнтів K_k .

Крім того, умова (7) вказує на існування таких порядків пріоритетів варіантів, що належать множині Парето, які неможливо одержати при застосуванні методики багатокритеріального вибору на базі використання згорток часткових критеріїв, тобто про принципову обмеженість цього виду методик у випадку обрання варіанту бортового обладнання для модернізації літальних апаратів військового призначення.

Одержане кількісне значення порогу результативності застосування методики багатокритеріального вибору на базі згорток часткових критеріїв у 60 елементів також має аналітичне обґрунтування. При застосуванні зазначених методик на прикладі вибору складу бортового обладнання літака Су-24МР розглядалось 6 бортових систем, варіанти кожної з яких обирались за 5 спеціалізованими критеріями, пов'язаним з їх специфічними властивостями (наприклад, кількість цілей для одночасного супроводження, дальність виявлення й розпізнавання цілей, номенклатура засобів ураження, які можна застосовувати, діапазон умов застосування авіаційних засобів ураження, тощо). Крім того, 30 часткових критеріїв відносились до загальних технічних та економічних властивостей (наприклад, відхилення центрування ЛА від номінального, зміну мінімального залишку потужності електричних джерел, зміну співвідношення активних і реактивних потужностей споживачів на борту, вартість реалізації варіанта, середню щорічну вартість експлуатації варіанта, середню вартість ремонту, час виконання програми модернізації за цим варіантом, тощо), які важливі для забезпечення бажаного рівня бойових і льотних якостей літака. Сумарна кількість часткових критеріїв, за якими здійснювався вибір, складає 60, що цілком відповідає виконанню вимоги (7).

Проведене дослідження, з одного боку, підтверджує відомий раніше теоретичний результат про наявність принципових обмежень застосування методик вибору на базі згорток часткових критеріїв [5, 6, 9, 10], з іншого боку, вказує на ризик зовнішнього негативного впливу пов'язаного з визначенням саме методики проведення багатокритеріального вибору: коштом обрання тієї чи іншої методики вибору в галузі модернізації бортового обладнання, існує можливість зовнішнього впливу на кінцевий результат, одержання варіанту модернізації який буде враховувати не тільки інтереси замовника, а й зовнішні інтереси.

Для запобігання прояву цього ризику в сфері модернізації бортового обладнання літаків військового призначення необхідним є застосування методик багатокритеріального вибору, які не потребують введення додаткової зовнішньої інформації в процедуру її обробки про варіанти (методик, спеціалізованих для цієї предметної галузі), насамперед у випадках, коли потужність множини Парето-варіантів буде перевищувати кількість часткових критеріїв вибору.

При цьому, збільшення кількості операцій обробки інформації (операцій порівняння, арифметичних операцій), що необхідні для реалізації спеціалізованої методики вибору $Q_1(\dots)$, що описана в [11]:

$$\sup Q_1(n, m, R, \tilde{N}) = (2n - 1)m^{(n+1)}m! + 2R\tilde{N} + \frac{1}{2}(\tilde{N}^2 - \tilde{N})R + \frac{1}{2}((m^n m!)^2 - (m^n m!))R, \quad (8)$$

у порівнянні з методикою вибору на базі згортки часткових критеріїв $Q_2(\dots)$:

$$\sup Q_2(n, m, R, \tilde{N}) = (2n-1)m^{(n+1)}m! + \frac{1}{2} \left((m^n m!)^2 - (m^n m!) \right) R, \quad (9)$$

не є визначальним навіть для існуючого рівня розвитку обчислювальної техніки й не може розглядатися як вагомий аргумент на користь універсальних методик на базі згорток (2) у порівнянні із спеціалізованими.

Застосування спеціалізованої методики багатокритеріального вибору, що описана в [11], дозволяє подолати негативний вплив зовнішньої інформації на результати вибору, але слід враховувати, що ця властивість поширюється лише на випадок вибору варіантів модернізації бортового обладнання літальних апаратів військового призначення, тобто зменшення діапазону умов результативного застосування є платою за функціональність спеціалізованих методик.

Отже, проведене дослідження підтверджує принципове існування можливості подолання негативного впливу зовнішнього чинника на результати вибору варіантів модернізації бортового обладнання літальних апаратів військового призначення.

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.Півнєв // Системи озброєння і військова техніка, ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2011. – № 1(25). – С.8–11.
5. Кини Р. Л. и Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981.
6. Артюшин Л.М., Зиатдинов Ю.К., Попов И.А., Харченко А.В. Большие технические системы. Проектирование и управление. Под ред. И.А.Попова. – Харьков: Факт, 1997. – 400с.
7. Воронин А.Н. Многокритериальные решения: модели и методы / А.Н.Воронин, Ю.К.Зиатдинов, М.В.Куклинский. – К.: Національний авіаційний університет, 2011. – 348с.
8. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982.
9. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход (2–е изд.). – М.: Физматлит, 2005.
10. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1992.— 504 с: ил.
11. Єрко В.Б. Методичний підхід до вибору складу і розміщення бортового обладнання літальних апаратів військового призначення при їх модернізації / О.А. Кононов, В.Б.Єрко // Збірник наукових праць ДНДА. – 2016. – № 12(19). – С. 85 – 91.