

УДК 621.391.1 : 623.74.4

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3\(23\).49-55](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3(23).49-55)

В. Б. ЄРКО, кандидат технічних наук, старший дослідник
<https://orcid.org/0000-0002-5150-5303>

А. М. ШАТРОВ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-3070-7483>
(Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ)

М. О. ШИШАНОВ, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

А. О. ВЕРЕТНОВ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

В. М. ПОЛОВЕНКО, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-1753-395X>
(Національний університет оборони України, м. Київ)

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМАТИЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ РОЗРОБЦІ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті представлено методичний підхід щодо обґрунтування та вибору варіантів модернізації бортового обладнання літальних апаратів військового призначення на основі застосування методик багатокритеріального вибору. Запропоновано аналітичне обґрунтування виявленої залежності результатів застосування зазначених методик від потужності множини Парето-варіантів та наведено результати аналізу критеріїв розміщення бортового обладнання на борту військового літака шляхом оптимізації мережі зв'язку між компонентами цього бортового обладнання. Практичне застосування запропонованого підходу дозволить у значній мірі зменшити вплив суб'єктивного фактору в системі прийняття рішень щодо вибору складу бортового обладнання літальних апаратів військового призначення за рахунок алгоритмізації та програмування процедури вибору.

Ключові слова: бортове обладнання, багатокритеріальний вибір, літальний апарат військового призначення, множина Парето-варіантів, модернізація.

ВСТУП

Аналіз досвіду бойових дій авіації Повітряних Сил Збройних Сил України переконливо свідчить, що одним із ключових факторів, що визначає результати її бойового застосування, є стан і науково-технічний рівень бортового обладнання. Світовий досвід також свідчить, що економічно вигідним напрямком підвищення бойових спроможностей авіації є модернізація літальних апаратів військового призначення через оновлення складу їх бортового обладнання (прицільно-навігаційних комплексів, комплексів зв'язку, розвідувальних комплексів, систем та комплексів реєстрації польотної інформації тощо). За проведеними вітчизняними експертами оцінюваннями, на сьогодні модернізації підлягають не менш 40 % усіх систем бортового обладнання літаків оперативно-тактичної та тактичної ланки авіації Повітряних Сил Збройних Сил України.

Аналіз програм модернізації військової авіаційної техніки, що здійснюється в світі, також свідчить про пріоритетність підвищення бойових можливостей літальних апаратів військового призначення (ЛАВП) шляхом оновлення складу їх бортового обладнання (БО). Набутий досвід модернізації свідчить, що прийняття рішення про вибір того чи іншого варіанту складу БО є ключовим при проведенні модернізації ЛАВП та потребує безсумнівної обґрунтованості. Такий підхід проявився при виконанні програм модернізації літаків В-52Н, починаючи з рівня Racer Plank і до рівня В-52Н [1-3], F-16 – до рівня Block 50/52, ..., Block 70 [4 - 6], МиГ-21 – до варіантів МиГ-21-93, MiG-21-2000 [7]. Прискорене впровадження сучасної цифрової елементної бази в зразки бортового обладнання вказує на надзвичайне загострення ситуації вибору вже найближчого часу. Для України в умовах зовнішньої воєнної та економічної агресії цей шлях є особливо важливим. Високий рівень відповідальності за результати вибору того чи іншого варіанту складу бортового обладнання для проведення модернізації неодмінно потребує на етапі прийняття рішення забезпечення обґрунтованості обраного варіанту. При цьому існує небезпека, що невдалий вибір може вкрай негативно вплинути на виконання національної програми модернізації літальних апаратів військового призначення, які повинні забезпечити бойовий потенціал авіації Повітряних Сил 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 [8, 9], методики вибору з використанням згортки критеріїв [8; 10]) і спеціалізовані методики (насамперед, методика вибору, що описана в [9] яка, на відміну від універсальних методик, не пе-

редбачає 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.

Метою статті є обґрунтування вибору схематичних рішень при розробці варіантів модернізації бортового обладнання літальних апаратів *військового призначення* шляхом виявлення закономірності застосування різних методик багатокритеріального вибору для зазначеної предметної області.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відмінними особливостями проведення модернізації літальних апаратів військового призначення Збройних Сил України є:

- наявність великої кількості варіантів складу обладнання (для сучасних зразків обладнання максимальна кількість варіантів складу визначається здобутком $N_{\max} = \prod_{i=1}^n m_i$, де n – кількість видів систем, які оновлюються; m_i – кількість наявних зразків бортового обладнання для i -ї системи);
- здійснення вибору серед конкурентних зразків обладнання;
- обмежені часові, фінансові та виробничі ресурси для проведення модернізації, що виключають можливість подальшого виправлення помилок вибору складу обладнання;
- виключне значення прозорості та об'єктивної аргументованості вибору, як умова запобігання можливим корупційним проявам.

Ці особливості визначають потребу у забезпеченні обґрунтованості вибору складу бортового обладнання літальних апаратів військового призначення при модернізації. Встановлено, що відносно такого обґрунтування існують принципові обмеження при застосуванні методик «неструктурованого вибору» (прямого перебору – порівняння варіантів), «жорсткоструктурованого вибору» (застосування згорток та пріоритетів часткових критеріїв, «цільових (ідеальних) точок» або експертів) та, навіть, відомих методик «слабоструктурованого вибору» (багатокритеріального вибору).

Отже, існують невідповідності між потребою у забезпеченні обґрунтованості вибору складу бортового обладнання літальних апаратів військового призначення та обмеженими можливостями існуючих методик.

Багатокритеріальний вибір складу бортового обладнання літальних апаратів військового призначення при їх модернізації являє собою задачу з виділення із заданої N -елементної множини Ω_X ($N \leq N_{\max}$) можливих варіантів складу обладнання X_i , $i = 1, \dots, N$, ($X_i \in \Omega_X$), які характеризуються показниками A_{ik} , що визначаються властивостями зразків обладнання (наприклад, кутова розрізнявальна здатність, температура чутливості, маса, вартість, середня інтенсивність потоку відмов тощо), такої упорядкованої результуючої підмножини варіантів Ω_X^* ($\Omega_X^* \in \Omega_X$, $\Omega_X^* \in \tilde{\Omega}_X$, де $\tilde{\Omega}_X$ – множина Парето варіантів (рис. 1), що є найкращими відносно системи

Ω_i переваг замовника модернізації (неповної множини відношень переваги одного варіанту за інший $X_i \succ X_j$) без залучення додаткової зовнішньої інформації (вагових коефіцієнтів згорток, кількісного співвідношення пріоритетів, значень «цільових (ідеальних) точок», кола експертів тощо).

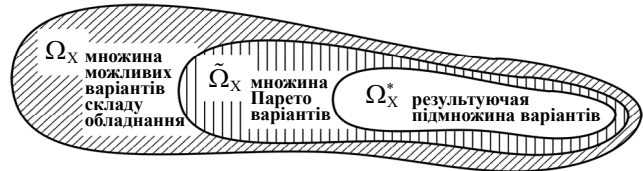


Рис. 1. Співвідношення множин варіантів бортового обладнання

Основними припущеннями та обмеженнями даної задачі є:

- розгляд детермінованих умов вибору, тобто відсутності випадковостей, невизначеності, неповноти інформації щодо характеристик зразків обладнання;
- можливість опису всіх властивостей обладнання однією системою тактико-технічних та техніко-економічних характеристик;
- розгляд лише конкурентних зразків обладнання;
- не розглядається можливість зведення переваг замовника модернізації лише до вимог економічної ефективності.

При проведенні дослідження випадку детермінованого вибору в умовах наявної повної апріорної інформації варіантів бортового обладнання на прикладі літака Су-24МР [11] 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 трьох можливих зразків обладнання для кожної системи ($m = 3$) є наявність у множині Парето понад 60 варіантів ($N > 60$).

Прикладна важливість зазначеного ефекту полягає в тому, що він може безпосередньо вплинути на обґрунтованість рішень при застосуванні багатокритеріального вибору варіантів бортового обладнання для військових літальних апаратів (ВЛА): 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 $R \times (\tilde{N}-1)$:

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

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 застосуванні 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 ЛАВП.

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 п'ятьма 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 [8, 9, 12], 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 ЛАВП 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]:

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

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

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

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 [14], дозволяє подолати негативний вплив зовнішньої інформації на результати вибору, але слід враховувати, що ця властивість поширюється лише на випадок вибору варіантів модернізації БО ЛАВП, тобто зменшення діапазону умов результативного застосування є платою за функціональність спеціалізованих методик.

Моделювання вибору з невеликої кількості зразків бортового обладнання показало, що результати застосування всіх методик (існуючих та запропонованої) збігаються, вплив додаткової інформації (змін вагових коефіцієнтів згорток, цільових точок або співвідношення пріоритетів часткових критеріїв) на результати вибору є незначним і тому можливо забезпечити обґрунтованість вибору.

Наприклад, для умов модернізації літака-розвідника типу Су-24МР при виборі обладнання з трьох зразків для кожної з п'яти систем (інфрачервоного сканування, лінійних цифрових камер планової зйомки, радіолокаційних станцій бокового огляду, станцій радіотехнічної

розвідки, бортових регістраторів польотної інформації) векторний критерій вибору призначався у складі 24 «цільових», 3 «витратних» та 3 «льотних» часткових критеріїв. Множина допустимих варіантів складала 243 варіанти, в тому числі 34 варіанта множини Парето. Застосування усіх методик вибору призводить до результату, що задовольняє головні тактико-технічні вимоги замовника модернізації:

- проведення повітряної розвідки у оптичному та інфрачервоному спектрах на відстанях не менш ніж 90 км;
- проведення розвідки у інфрачервоному спектрі з кутовою розрізняюваною здатністю до 0,15 мрад та температурою чутливості до 0,1 °К;
- забезпечення просторового видового розрізнення для висоти 2000 м не більше 0,3 м;
- забезпечення та куту поперечного огляду не менше 120°;
- забезпечення розрізняювальної здатності в радіодіапазоні не більше 0,5 м для висоти 11000 м;
- забезпечення мінімальної дальності кадрування не менше 70 км;
- вартості модернізації одного літака не більше ніж 25 млн грн.

Моделювання вибору з великої кількості зразків бортового обладнання показало, що на відміну від запропонованої методики у інших існує чітко виражена залежність результатів вибору від додаткової інформації, що вкрай негативно впливає на обґрунтованість вибору.

Наприклад, при виборі обладнання з 5 зразків для кожної з 5 систем (інфрачервоного сканування, лінійних цифрових камер планової зйомки, радіолокаційних станцій бокового огляду, станцій радіотехнічної розвідки, бортових регістраторів польотної інформації) векторний критерій вибору призначався у тому ж складі: з 24 «цільових», 3 «витратних» та 3 «льотних» часткових критеріїв. Множина допустимих варіантів складала 3125 варіантів, в тому числі 114 варіанта множини Парето. При застосуванні існуючих методик навіть 5 % відхилення вагових коефіцієнтів згортки, цільової точки або співвідношення пріоритетів часткових критеріїв буде призводити до істотної зміни складу результуючої множини.

Навпаки, застосування запропонованої в [14] методики виключає необхідність використання додаткової апостеріорної інформації та дозволяє включити у результуючу множину всі варіанти множини Парето, що здатні забезпечити екстремальні властивості модернізованого літака (найкращі розвідувальні або ударні можливості, найкращий захист або безпеково-експлуатаційні властивості тощо). Такий підхід принципово здатен забезпечити обґрунтованість вибору складу обладнання без зменшення ролі і значення відповідальної

Результати проведеного оцінювання кількості необхідних для реалізації зазначених методик обчислювальних операцій обробки інформації дозволяють зробити висновок: застосування запропонованої методики БО в множині Парето та незначною відмінністю цих варіантів за характеристиками. Зумовлено це більшою кількі-

стю обчислювань для запропонованої методики. Але, у разі значної кількості Парето-варіантів БО і незначних відмінностях за характеристиками самих варіантів БО, збільшення кількості обчислювальних операцій обробки інформації зменшує вплив сторонніх зовнішніх чинників та, як наслідок, підвищує обґрунтованість (безсумнівно аргументує) рішення за результатами вибору складу БО ЛАВП при їх модернізації.

ВИСНОВКИ

Застосування розробленої методики багатокритеріального вибору складу БО ЛАВП для їх модернізації дозволяє подолати вплив зовнішньої інформації на результати та обґрунтувати результати вибору особи (колективу), що здійснює вибір, але слід враховувати, що ця властивість поширюється лише на випадок вибору варіантів модернізації БО ЛАВП. Отже, функціональність розробленої спеціалізованої методики відбувається за рахунок зменшення діапазону її результативного застосування та підтверджує принципове існування можливості подолання негативного впливу зовнішнього чинника на результати вибору варіантів модернізації бортового обладнання літальних апаратів військового призначення.

Практична значимість отриманих в дослідженні результатів полягає в обґрунтованості результатів вибору, що досягається шляхом аналітичного відшукування варіантів складу БО ЛАВП для їх модернізації без залучення зовнішньої додаткової інформації та дозволить:

- забезпечувати обґрунтованість вибору складу бортового обладнання з великої кількості можливих зразків (умови проведення модернізації у майбутньому);
- визначати принципові обмеження існуючих методик вибору складу бортового обладнання для їх урахування при реалізації програми модернізації ЛАВП;
- зменшити вплив суб'єктивного фактору в системі прийняття рішень щодо вибору складу БО для модернізації ЛАВП Збройних Сил України за рахунок алгоритмізації та програмування процедури вибору.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Air Force. Офіційний сайт уряду USA. B-52 Stratofortress. Режим доступу: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104465/b-52h-stratofortress/>.
2. Staff Writer. Boeing B-52 Stratofortress. High Altitude, Long-Range Strategic Heavy Bomber [1955]. Military Factory. 08/06/2022. Режим доступу: https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=19.
3. John A. Tirpak. How a Rusty B-52 Carcass Is Key to the Bomber's Big Upgrades. Air & Space Forces Magazine. May 24, 2023. Режим доступу: <https://www.airandspaceforces.com/rusty-b-52-carcass-upgrades/>.
4. Air Force. Офіційний сайт уряду USA. F-16 Falcon. Режим доступу: <https://www.af-mil.translate.google.com/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104505/f-16-fighting-falcon/>.
5. John A. Tirpak. First F-16 Block 70 Emerges From Lockheed Martin's New Factory—128 More on Order. Air

& Space Forces Magazine. Nov. 22, 2022. Режим доступу: <https://www.airandspaceforces.com/first-f-16-block-70-emerges-from-lockheed-martins-new-factory-128-more-on-order/>.

6. Rosita Mickeviciute. F-16 Fighting Falcon: a comprehensive look at the aircraft and its features. Aerotime Hub. Transport and telecommunication inst. Univ. of the West of England. 2023-05-15. Available at: <https://www.aerotime.aero/articles/f-16-fighting-falcon-a-comprehensive-look-at-the-aircraft-and-its-features>.
7. Бурковський С.І., Смик С.І., Півнєв Д.А. Досягний рівень модернізації літаків МиГ-21. Системи озброєння і військова техніка. Харків: Харківський ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2011. № 1(25). С. 8–11.
8. Kononov, O., Yerko, V., & Shatrov, A. (2022). Rational placement of on-board equipment of combat aircraft when they are upgraded. Scientific Col. «InterConf+». № 25(125). Pp. 242–249. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.09.2022.022>.
9. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 4. Методология исследования сложных систем военного назначения: монография / Шишанов М.А., Лапицкий С.В., Кучинский А.В., Оленович И.Ф., Чепков И.Б., Васильковский М.И., Гурнович А.В., Бисык С.П., Куприненко А.Н. Киев: Издательский дом Дмитрия Бурого. 2013. 250 с.
10. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Куклинский М.В. Многокритериальные решения: модели и методы. Київ: Нац. авіац. ун-т. 2011. 348 с.
11. Артюшин Л.М., Кононов О.А., Єрко В.Б. Визначення результатуючої множини варіантів при багатокритеріальному виборі складу бортового обладнання бойових літальних апаратів для їх модернізації. Зб. наук. пр. ДНДІА. 2021. № 17(24). С. 20–26. <https://doi.org/10.54858/dndia/2021-17-3>.
12. Kononov, O., Yerko, V., Shatrov, A., & Shishanov, M. (2023). Analysis of the scientific and methodological apparatus for selecting the option of onboard equipment for military aircraft. Scientific Col. «InterConf+». № 31(147). Pp. 637–644. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2023.067>.
13. Медведев Г.А., Пономаренко С.О. Напрямки підвищення розвідувального потенціалу літаків-розвідників шляхом їх модернізації. Озброєння та військова техніка. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2019. № 2(22). С. 64–66. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2\(22\).64-66](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2(22).64-66).

REFERENCES

1. Air Force. An official website of the United States government. B-52 Stratofortress. Available at: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104465/b-52h-stratofortress/>.
2. Staff Writer. Boeing B-52 Stratofortress. High Altitude, Long-Range Strategic Heavy Bomber. 1955. Military Factory. 08/06/2022. Available at: https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=19.
3. John A. Tirpak. How a Rusty B-52 Carcass is Key to the Bomber's Big Upgrades. Air & Space Forces Magazine. May 24, 2023. Available at: <https://www.airandspaceforces.com/rusty-b-52-carcass-upgrades/>.

4. Air Force. An official website of the United States government. 16 Falcon. Available at: <https://www-af-mil.translate.google.com/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104505/f-16-fighting-falcon/>.
5. John A. Tirpak. First F-16 Block 70 Emerges from Lockheed Martin's New Factory-128 More on Order. Air & Space Forces Magazine. Nov. 22. 2022. Available at: <https://www.airandspaceforces.com/first-f-16-block-70-emerges-from-lockheed-martins-new-factory-128-more-on-order/>.
6. Rosita Mickeviciute. F-16 Fighting Falcon: a comprehensive look at the aircraft and its features. Aerotime Hub. Transport and telecommunication inst. Univ. of the West of England. 2023-05-15. Available at: <https://www.aerotime.aero/articles/f-16-fighting-falcon-a-comprehensive-look-at-the-aircraft-and-its-features>.
7. Burkovsky, S.I., Smik, S.I. & Pivnev, D.A. (2011), "Dosiagnii riven modernizatsii litakiv MiG-21" [Level of aircraft MiG-21 modernization reached], Weapons system and military equipment, HUAF name of Ivan Kogedub. № 1. Pp. 8–11.
8. Kononov, O., Yerko, V., & Shatrov, A. (2022). Rational placement of on-board equipment of combat aircraft when they are upgraded. Scientific Col. «InterConf+». № 25(125). Pp. 242–249. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.09.2022.022>.
9. Shishanov, M.A., Lapitsky, S.V., Kuchinsky, A.V., Olenovich, I.F., Chepkov, I.B., Vaskovsky, M.I., Gurnovich, A.V., Bisyk, S.P. & Kuprinenko, A.N. (2013), "Osnovy voenno-technicheskikh reshenii. Teoriia i prilozheniia. Vol. 4. Metodologiya issledovaniia slozhnykh sistem voennogo naznacheniia: Monografiia" [Basics of military-technical research. Theory and Applications. Vol. 4. Methodology for the study of complex military systems: Monographs], Dmitry Burago Publishing House. K. 250 p.
10. Voronin, A.N., Ziatdinov, Y.K. & Kuklinsky, M.V. (2011), "Mnogokriterialnye resheniia: modeli i metody" [Multicriteria solutions: models and methods], Nat. Aviat. Univ. K. 348 p.
11. Artushin, L.M., Kononov, O.A. & Yerko, V.B. (2021), "Vyznachennia rezultuiuchoi mnogyny variantiv pri bagatokriterialnomu vybori skladu bortovogo obladnannia" [Determination of the resulting set of options at the multicriteria selection of the onboard equipment of combat aircraft for their modernization], Coll. of scientific works of State Research Inst. of Aviation. № 17(24). Pp. 20–26. <https://doi.org/10.54858/dndia/2021-17-3>.
12. Kononov, O., Yerko, V., Shatrov, A., & Shishanov, M. (2023). Analysis of the scientific and methodological apparatus for selecting the option of onboard equipment for military aircraft. Scientific Col. «InterConf+». № 31(147). Pp. 637–644. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2023.067>.
13. Medvedev, G.A. & Ponomarenko, S.O. (2019), "Napriamki pidvyshennia rozvidualnogo potentsialu litakiv-rozvidnikiv shlihom ikh modernizatsii" [Directions of increasing potential of aircraft – reconnaissance through their modernization], Weapon and military equipment. № 2(22). Pp. 64–66. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2\(22\).64-66](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2(22).64-66).

Erko V., Shatrov A., Shishanov M., Veretnov A.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF SCHEMATIC SOLUTIONS IN THE DEVELOPMENT OF OPTIONS FOR THE MODERNIZATION OF ON-BOARD EQUIPMENT OF MILITARY AIRCRAFT

The article presents a methodological approach to the justification and selection of options for the modernization of on-board equipment of military aircraft based on the application of multi-criteria selection methods. An analysis of the global development of military aircraft showed that an economically beneficial direction for increasing their combat capabilities is the modernization of on-board equipment (aiming-navigation and reconnaissance systems, communication systems, registration of flight information, etc.), while choosing one or another variant of the composition of the on-board equipment is to a large extent key in its implementation. Analytical substantiation of the revealed dependence of the results of the application of the mentioned methods on the power of the set of Pareto variants is proposed, and the results of the analysis of the criteria for the placement of on-board equipment on board a military aircraft by optimizing the communication network between the components of this on-board equipment are given. With this approach, the function of the methodical apparatus is reduced to the selection from a set of possible options for choosing those alternatives that do not have advantages over others, and the function of direct selection among the remaining competitive options is entrusted to the person responsible for making the final decision. With this approach, the function of the methodical apparatus is reduced to the selection from a set of possible options for choosing those alternatives that do not have advantages over others, and the function of direct selection among the remaining competitive options is entrusted to the person responsible for making the final decision. At the same time, the applied criteria relate to general technical and economic properties and are important for ensuring the desired level of combat and flight qualities of the aircraft. The practical application of the proposed approach will allow to significantly reduce the influence of the subjective factor in the decision-making system regarding the selection of onboard equipment military aircraft due to algorithmization and programming of the selection procedure.

Keywords: aircraft equipment, multi-criteria choice, military aircraft, many Pareto set, modernization of military aircraft.

Відомості про авторів:**Шишанов Михайло Олексійович**

доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>
e-mail: shishanov789@ukr.net

Веретнов Андрій Олександрович

кандидат технічних наук
провідний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>
e-mail: weretnow5_5@ukr.net

Срко Віктор Борисович

кандидат технічних наук, старший дослідник
начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5150-5303>

Шатров Андрій Миколайович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації
м. Київ, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-3070-7483>

Information about the authors:**Mychailo Shishanov**

Doctor of Technical Sciences, Professor
Lead Researcher
Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>
e-mail: shishanov789@ukr.net

Andrei Veretnov

Candidate of Technical Sciences
Lead Researcher
Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>
e-mail: weretnow5_5@ukr.net

Erko Victor

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Chief of Scientific Research Department
State Research Aviation Institute
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5150-5303>

Andrii Shatrov

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Leading Researcher
State Research Aviation Institute
Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-3070-7483>

Стаття надійшла до редколегії 10.08.2023.