

В.Б. Єрко, М.М. Вознюк, В.А. Храмченко, Т.В. Бабкіна

Державний науково-дослідний інституту авіації, Київ

ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРНОГО КРИТЕРІЮ ВИБОРУ СКЛАДУ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ БОЙОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Визначено невідповідність між існуючими методиками вибору складу бортового обладнання для модернізації бойових літальних апаратів та практичними потребами в обґрунтованості вибору сучасного бортового обладнання, що обумовлює актуальність мети даної статті, а саме: використання науково-методичного апарату багатокритерійного вибору при визначенні складу бортового обладнання бойових літальних апаратів для розширення їх бойових можливостей шляхом модернізації. Запропоновано науково-методичний підхід із формування векторного критерію вибору складу бортового обладнання бойових літальних апаратів для їх модернізації.

Ключові слова: багатокритерійний вибір, модернізація, літальний апарат, Парето-множина, векторний критерій.

Вступ

Модернізація старіючого парку бойових літальних апаратів (ЛА) Збройних Сил України, шляхом оновлення складу бортового обладнання (БО) є вагомим кроком з підвищення бойових спроможностей вітчизняних Повітряних Сил в умовах зовнішньої воєнної агресії та обмеженому постачанні матеріально-технічної допомоги з боку країн-партнерів.

Набутий попередній досвід модернізації свідчить, що рівень відповідальності за результати вибору того чи іншого варіанта складу БО для проведення модернізації потребує обґрунтованості.

Прискорений розвиток і поширення мікропроцесорної елементної бази, що є реалією сьогодення, суттєво збільшує кількість розробників, і відповідно, проведення вибору складу БО з багатьох десятків варіантів, а існуючі методики не дозволяють забезпечити обґрунтованість вибору конкурентних зразків БО.

Постановка проблеми. Аналіз обмежень існуючих методичних підходів вказує на існування принципової неможливості забезпечення обґрунтованості (безсумнівної аргументованості) вибору складу БО для модернізації бойових ЛА.

Цю задачу можна описати як багатокритерійну задачу вибору із заданої множини можливих варіантів БО такої підмножини результуючих варіантів, які є найкращими відносно системи переваг особи, що здійснює вибір (ОЗВ), без залучання додаткової зовнішньої (апостеріорної) інформації

Аналіз попередніх досліджень [1...14] показує, що за великої кількості конкурентних варіантів, методики прямого перебирання-порівняння варіантів не є результативні, а

методики, що базуються на застосуванні згорток та пріоритетів часткових критеріїв вибору, “цільових (ідеальних) точок” або експертів, передбачають введення додаткової зовнішньої інформації (вагових коефіцієнтів згорток, кількісного співвідношення пріоритетів, значень цільових точок, кола обраних експертів), що фактично обумовлює результати вибору та вкрай негативно впливає на його обґрунтованість.

У цих методиках суб’єктивний характер додаткової інформації принципово обмежує можливість отримання обґрунтованого результату вибору у випадку великої кількості варіантів. Методики вибору складу БО, які застосовуються при модернізації літаків і вертольотів цивільної авіації, базуються на критеріях економічної ефективності та не здатні адекватно врахувати специфічні вимоги до бойових ЛА.

Методологія багатокритерійного вибору не заперечує можливості подолання зазначеного недоліку шляхом врахування специфічних особливостей бойових ЛА як складних комплексів озброєння та військової техніки. Але, попри наявність потужного теоретичного базису у цьому напрямі, прикладне питання його використання для модернізації бойових ЛА практично не відображено ні в закордонних, ні у вітчизняних джерелах.

Наріжним каменем для подолання цієї ситуації є, на наш погляд, **актуальне науково-технічне завдання** з формування векторного критерію вибору складу БО бойових ЛА для їх модернізації.

Мета статті є представлення результатів особистих досліджень авторів спрямованих на обґрунтування векторного критерію вибору складу БО для врахування специфічних вимог до бойових ЛА.

Методологія, що використовується у статті, є подальшим розвитком відомої наукової школи з розв'язання задач векторної оптимізації авіаційно-космічної спрямованості [3...6].

Виклад основного матеріалу

Формування векторного критерію вибору базується на аналізі системи переваг ОЗВ [1]. Визначено, що основою системи переваг ОЗВ є намагання обрати варіант БО:

з найкращими властивостями застосування за призначенням (тобто цільовими показниками):

$$\left(A_i^u \succ A_j^u \right) : \left(A_i = A_j \right) \Rightarrow \left(\bar{X}_i \succ \bar{X}_j \right); \quad (1)$$

з найменшими потрібними витратами на реалізацію (тобто витратними показниками):

$$\left(A_i^b \succ A_j^b \right) : \left(A_i = A_j \right) \Rightarrow \left(\bar{X}_i \succ \bar{X}_j \right); \quad (2)$$

з найменшим негативним впливом на льотно-технічні характеристики бойового ЛА:

$$\left(A_i^l \succ A_j^l \right) : \left(A_i = A_j \right) \Rightarrow \left(\bar{X}_i \succ \bar{X}_j \right). \quad (3)$$

Формування векторного критерію вибору $\bar{J}(\bar{X})$ відбувається з компонент векторів параметрів:

$$\bar{J}(\bar{X}) = \begin{bmatrix} J_1^u(\bar{A}), \dots, J_{qu}^u(\bar{A}), J_1^b(\bar{A}), \dots \\ \dots, J_{qp}^b(\bar{A}), J_1^l(\bar{A}), \dots, J_{ql}^l(\bar{A}) \end{bmatrix}^T, \quad (4)$$

що описують властивості кожного з варіантів БО:

$$\bar{J}(\bar{X}) = \begin{bmatrix} J_1^u(\bar{X}), \dots, J_{qu}^u(\bar{X}), J_1^b(\bar{X}), \dots \\ \dots, J_{qp}^b(\bar{X}), J_1^l(\bar{X}), \dots, J_{ql}^l(\bar{X}) \end{bmatrix}^T, \quad (5)$$

де $\bar{A}_i$ – r -компонентний вектор параметрів i -го варіанту складу БО,

$\bar{X}_i$ – n -компонентний вектор варіанта складу БО.

Отже, векторний критерій вибору варіанта складу БО бойового ЛА для його модернізації набуває вигляду:

$$\bar{J}(\bar{X}_i) = \begin{bmatrix} \bar{J}_u(\bar{A}_i(\bar{X}_i)) \\ \bar{J}_p(\bar{A}_i(\bar{X}_i)) \\ \bar{J}_l(\bar{A}_i(\bar{X}_i)) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де $\bar{J}_u(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ – вектор “цільових” компонент векторного критерію $\bar{J}(\bar{X}_i)$, які характеризують тактико-технічні властивості ЛА як засобу виконання бойових завдань (наприклад, дальність розпізнавання цілей, кількість цілей для одночасного супроводження й прицілювання, діапазон умов застосування авіаційних засобів ураження тощо);

$\bar{J}_p(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ – вектор “ресурсних” компонент векторного критерію $\bar{J}(\bar{X}_i)$, які визначають

ресурсні витрати на реалізацію даного варіанта складу БО (вартість обладнання, вартість періодичних робіт, середні експлуатаційні витрати, витрати часу на проведення робіт з технічного обслуговування виробів БО тощо) [15];

$\bar{J}_l(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ – вектор “льотних” компонент векторного критерію $\bar{J}(\bar{X}_i)$, які характеризують пілотажні та льотно-технічні властивості бойового ЛА, рівень безпеки польотів за умови обрання визначеного варіанту складу БО (наприклад, відхилення польотної маси ЛА від номінальної, відхилення центрування ЛА від номінального, можливості спряження виробів БО у одному цифровому форматі, відхилення електричної потужності споживачів від номінальної тощо).

“Цільові” компоненти $\bar{J}_u(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ векторного критерію $\bar{J}(\bar{X}_i)$ є функціонально залежними від тактико-технічних характеристик (ТТХ) виробів БО бойового ЛА. Отже, природним є бажання ОЗВ обрати такий варіант складу БО, що має найкращі показники $\bar{a}_j$ конкретних зразків обладнання.

Внесок “ресурсної” компоненти $\bar{J}_p(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ векторного критерію $\bar{J}(\bar{X}_i)$ може бути відображено у вигляді лінійної функції вартості $S(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ для варіантів складу БО, що розглядаються.

Використання вартісних показників для оцінювання “ресурсних” компонент $\bar{J}_p(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ векторного критерію $\bar{J}(\bar{X}_i)$ варіантів складу БО має ряд визначальних переваг. По-перше, вартісні показники мають властивості адитивності, а саме: загальна вартість будь-кого варіанту БО завжди може бути представлена через суму вартостей виробів, що входять до даного варіанту. По-друге, надання $\bar{J}_p(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ через вартісні показники забезпечує “тотожність ефекту”: можна завжди порівняти внески окремих характеристик виробів в

показник якості реалізації варіантів складу БО у цілому. При цьому залежність $S(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ від значень характеристик $\bar{a}_j$ є абстрагованою, вираженою в грошових (або умовних) одиницях інформацією про стан рівня розробки, виробництва та експлуатаційної технологічності виробів БО, що входять до варіантів [16].

“Льотні” компоненти $\bar{J}_L(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ векторного критерію $\bar{J}(\bar{X}_i)$ відображають можливості бойового ЛА зберігати сталість своїх пілотажних та льотно-технічних властивостей, рівня безпеки польотів тощо. Сталість пілотажних та льотно-технічних властивостей бойового ЛА після встановлення модернізованого БО відбувається шляхом скоординованих реакцій, що є відгуком на відновлення втрачених льотно-тактичних характеристик (наприклад, відхилення польотної маси ЛА від номінальної, відхилення центрівки ЛА від номінальної, спряження виробів БО, відхилення електричної потужності споживачів на борту від номінальної тощо) через встановлення модернізованого БО.

Слід зазначити, що детального розгляду потребує ситуація з об'єднання різних за форматами систем БО, які входять до складу комплексу модернізованого бойового ЛА. Комплекси БО є такими, що реалізують у реальному масштабі часу сукупність різних за призначенням функціональних завдань, які ієрархічно пов'язані на рівні відповідних алгоритмів та протоколів обміну даними. Аналіз свідчить, що під час модернізації ЛА неминуче виникає завдання сполучення сучасного цифрового БО з існуючим та задача узгодження форматів обміну даними між різними системами БО модернізованого ЛА. Отже, через розподілення на борту ЛА та неоднорідності самих цифрових засобів, які використовуються для модернізації ЛА військового призначення, виникає задача їх об'єднання та функціонування у єдиному комплексі БО. Це завдання вирішується шляхом створення системи бортового обміну даними, яка є сукупністю апаратних, програмних та алгоритмічних засобів, необхідних для об'єднання та організації обміну інформацією між різними функціональними елементами БО.

Відомо, що переважну більшість сучасних систем БО проектують та виготовляють незалежно одну від іншої різні виробники, які входять до конкуруючих підприємницьких структур. Через це виникає несумісність під час об'єднання БО різних виробників (хоча обладнання і виконано за єдиними стандартами), яка здебільшого і обмежує

функціональність окремих виробів. Подолання наведеної ситуації відбувається шляхом використання додаткового сполучного обладнання (інтерфейсу), що забезпечує функціонування комплексу БО у єдиному форматі обміну даних. Вибір типу бортового інтерфейсу для каналу обміну визначається вимогами до системи обміну з забезпечення потрібної функціональної зв'язності складових БО, високої надійності передачі даних, довговічності та безвідмовності обладнання, його ремонтпридатності, можливості подальшого розширення комплексу, простоти схемних та конструктивних рішень, мінімізації вартості, масо-габаритних показників апаратури, об'єму даних, що передаються, тощо. Отже, вплив нового БО, яке встановлюють для модернізації бойового ЛА, потребує окремого дослідження та не входить до науково-прикладних завдань даної роботи.

Розміщення БО здійснюється, як правило, в монтажному просторі бойового ЛА, що звільняється від штатного БО в процесі модернізації. Природним також є монтаж деяких складових виробів нового БО в місцях розміщення штатного БО через конструктивні особливості первинних перетворювачів інформації (антенних систем, об'єктивів, магістралей живлення тощо). Крім того, у процесі модернізації на бойовий ЛА встановлюють певну кількість додаткових систем, які розширюють бойові можливості. Як правило, вироби БО, що встановлюють для модернізації бойового ЛА, мають відмінні масо-габаритні характеристики у порівнянні зі штатним. Звідси виходить, що у звільнений у процесі модернізації монтажний простір розміщують БО, яке є вдосконалим функціональним аналогом штатному БО, а також і додаткові системи БО.

Розміщенням БО у монтажному просторі бойового ЛА прийнято вважати такі дії, реалізація яких дозволяє встановити складові БО в просторі, що дозволено до монтажу, та здійснити прокладання усіх зв'язків між складовими БО за умови дотримання заданих просторових обмежень. Отже, необхідно визначити систему координат ЛА, яку буде прийнято до розгляду. Для опису розміщення БО в дослідженні використано зв'язану систему координат, яка є типовою для ЛА військового призначення.

Під час використання зв'язаної системи координат $OXYZ$ осі OX та OY розташовано у площині симетрії літака та за напрямками: повздовжня вісь OX по осі фюзеляжу вперед, нормальна вісь OY перпендикулярно до OX вгору, поперечна вісь OZ перпендикулярно площині симетрії у бік правої площини крила ЛА. Початок координат розташовано у центрі мас літака.

Відомо, що розміщення складових БО

залежить від аналітичного опису простору, визначеного до монтажу, відповідно до якого оцінюється відстань між центрами мас сукупності складових БО в монтажному просторі та центром мас бойового ЛА.

Найбільш широке застосування отримав аналітичний опис монтажного простору у вигляді:

$$l_{0j} = (|x_0 - x_j|^p + |y_0 - y_j|^p + |z_0 - z_j|^p)^{\frac{1}{p}}, \quad (7)$$

де коефіцієнт розмірності $p = 1, 2, 3, \dots, P$.

Вираз (7) при коефіцієнті $p=1$ є ортогональним описом монтажного простору, що також має назву “метрика міських кварталів”, і має вигляд:

$$l_{0j} = |x_0 - x_j| + |y_0 - y_j| + |z_0 - z_j|, \quad (8)$$

де l_{0j} – відстань між центром мас ЛА і j -м комплектувальним виробом БО, x_j, y_j, z_j – відповідні координати j -го комплектувального виробу БО у тривимірному монтажному просторі бойового ЛА.

Вираз (7) при коефіцієнті $p=2$ є описом монтажного простору за Евклідом (“евклідовий” план). У цьому випадку визначається найкоротша відстань між центром мас бойового ЛА та j -м комплектувальним виробом БО

$$l_{0j} = \sqrt{|x_0 - x_j|^2 + |y_0 - y_j|^2 + |z_0 - z_j|^2}. \quad (9)$$

У практичній діяльності при розміщенні БО у монтажному просторі бойового ЛА є неминучі відхилення від ідеалізованої моделі, якою є один або інший опис. Відхилення зумовлено як міркуваннями економічного характеру, так і технологічними обмеженнями під час розміщення БО в процесі модернізації (наприклад, коли необхідно “зрізати” кут або обійти перешкоду). Однак використання “комбінованих” описів монтажного простору бойового ЛА призводить до значних ускладнень обчислювального характеру процесу розміщення БО.

“Ортогональний” план за евклідовим способом оцінки відстаней між складовими БО має, у загальному випадку, більшу загальну довжину мережі (на 3,5 %...5 %) у порівнянні з “евклідовим” планом. Однак із практичної точки зору “ортогональний” план з евклідовими відстанями має перевагу над суто “евклідовим”. Зумовлено це тим, що: по-перше, зв’язки між складовими БО не прокладаються в “натяг”, тобто завжди має місце деяке технологічне “послаблення”, що присутнє в “ортогональному” плані та повністю відсутнє у “евклідовому”; по-друге, “ортогональний” план геометрично доцільніший ніж “евклідовий”, що

також є аргументом на його користь.

Застосування обліку відстаней між центрами мас складових БО та центром мас бойового ЛА дозволяє оцінити можливість їх розміщення за мінімальною сумарною довжиною зв’язків. Отже, така оцінка враховує відхилення центрування ЛА від номінального.

Для монтажного простору бойового ЛА зміну центрувальних характеристик під час встановлення модернізованого БО, з урахуванням (9) можна записати:

$$\Delta m_j l_{0j} = l_{0j} \sqrt{|m_j - m_j^M|^2} \leq K_j l_{0j}, \quad (10)$$

де Δm_j – різниця між масами j -го модуля штатного m_j та модуля m_j^M , який встановлюють для модернізації бойового ЛА; K_j – коефіцієнт функції штрафу.

Споживана потужність характеризує варіант складу БО для модернізації бойового ЛА з точки зору енергетичних витрат, спрямованих на досягнення його нормативних ТТХ та можливості забезпечення даних характеристик системою енергопостачання бойового ЛА.

У разі, коли за результатами розрахунків та аналізу можливих варіантів енергосистем приймається рішення про живлення деякого варіанта БО змінним струмом, то в додавання до типового розрахунку (визначення потужності джерел живлення, складання графіків навантаження, вибір перетину дротів мережі живлення тощо) необхідно:

розподілити споживачів кожного варіанта БО за видами живлення на трифазні та однофазні, а за напругою – 208 В, 115 В та 36 В;

визначити сумарну потребу в постійному струмі;

розподілити навантаження поміж фазами, беручи до уваги, що для більшості типів генераторів розбалансування навантажень між фазами обмежено 20 %;

симетрично розподілити між фазами активні та індуктивні навантаження для того, щоб звести до мінімуму викривлення синусоїдальної кривої змінного струму, які залежать від співвідношення активного та реактивного навантаження генераторів;

визначити шляхи та засоби протидії перешкодам та наводкам від фону частоти змінного струму 400 Гц, особливо у місцях встановлення вразливих систем навігаційного та радіобладнання.

Резервування БО для забезпечення високих показників надійності та покращення ТТХ з метою розширення бойових можливостей, призводить до

збільшення споживаної потужності та, як наслідок, до збільшення маси, вартості та об'єму [16]. Крім того, збільшення споживаної потужності призводить до погіршення надійності через можливість електричного пробоя в апаратній частині складових БО. Отже, вимоги до зміни показника споживаної потужності можна задати як:

$$\Delta P_j = \sqrt{|P_j - P_j^M|^2} \leq K_j^M, \quad (11)$$

де P_j та P_j^M – потужності системи енергоживлення штатного та модернізованого БО відповідно; K_j^M – коефіцієнт функції штрафу.

Узагальнюючи наведене вище, можливо стверджувати, що запропонована структура (6) векторного критерію вибору варіанта складу БО бойового ЛА для його модернізації відповідає суперечливим цільовим установкам ОЗВ до варіанту БО та набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \bar{X}_i \succ \bar{X}_j : & \begin{cases} J_k^u(\bar{A}_i) < J_k^u(\bar{A}_j) \\ J_k^g(\bar{A}_i) = J_k^g(\bar{A}_j) \\ J_k^l(\bar{A}_i) = J_k^l(\bar{A}_j) \end{cases} \vee \dots \\ & \dots \begin{cases} J_k^u(\bar{A}_i) = J_k^u(\bar{A}_j) \\ J_k^g(\bar{A}_i) < J_k^g(\bar{A}_j) \\ J_k^l(\bar{A}_i) = J_k^l(\bar{A}_j) \end{cases} \vee \dots \\ & \dots \begin{cases} J_k^u(\bar{A}_i) = J_k^u(\bar{A}_j) \\ J_k^g(\bar{A}_i) = J_k^g(\bar{A}_j) \\ J_k^l(\bar{A}_i) < J_k^l(\bar{A}_j) \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

Отже, відповідно до (12) варіант складу БО для модернізації бойового ЛА повинен:

забезпечувати найкращі тактико-технічні властивості бойового ЛА як засобу виконання бойових завдань;

мати найменші ресурсні витрати під час його реалізації та в процесі експлуатації;

якомога менше впливати на льотно-технічні властивості бойового ЛА та рівень безпеки польотів [7, с. 7...22, с. 67...79].

Проведений аналіз компонент векторного критерію вибору $\bar{J}(\bar{X}_i)$ складу БО бойового ЛА під час його модернізації, який сформовано відповідно до цієї методики, свідчить, що:

компоненти “цільової” $\bar{J}_u(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ і “ресурсної” $\bar{J}_p(\bar{A}_s(\bar{X}_i))$ частин є лінійно залежними від значень компонент векторів $\bar{A}_i$

$$\bar{J}(\bar{X}) = \sum_{j=1}^R K_j a_{j,i}; \quad (13)$$

для компонент “льотної” $\bar{J}_l(\bar{A}_i(\bar{X}_i))$ частини залежність від значень компонент векторів $\bar{A}_i$ доцільно надавати у вигляді нелінійної функції штрафу:

$$J_i^l(\bar{X}) = \sum_{j=1}^R \left(K_j \left(a_{j,i} - a_j^{np} \right) \right)^{2q} i; \quad (14)$$

де R – кількість компонент векторного критерію вибору $\bar{J}(\bar{X}_i)$ варіанта складу БО бойового ЛА при його модернізації

Отже, наведені результати проведеного дослідження підтверджують можливість обґрунтування векторного критерію вибору складу БО під час здійснення модернізації бойових ЛА, що враховує специфічні вимоги.

Висновки

1. Для пошуку області результуючих варіантів складу БО бойових ЛА для їх модернізації використано методологію багатокритерійної оптимізації, яка дозволяє одночасно враховувати взаємозалежні та суперечливі тактико-техніко-економічні вимоги, що відповідають системі переваг ОЗВ до складу БО бойового ЛА.

2. Розроблено методику формування векторного критерію $\bar{J}(\bar{X})$, який адекватно відображає систему переваг ОЗВ під час вибору варіанта БО для модернізації бойового ЛА. Отже, обраний варіант складу БО:

забезпечує найкращі тактико-технічні властивості ЛА як засобу виконання бойових завдань;

має найменші ресурсні витрати при реалізації; якомога менше впливає на льотно-технічні характеристики бойового ЛА та рівень безпеки польотів.

3. Формування векторного критерію вибору здійснено з вектору “цільових” компонент, які характеризують тактико-технічні властивості ЛА як засобу виконання бойових завдань (наприклад, дальність розпізнавання цілей, кількість цілей для одночасного супроводження та прицілювання, діапазон умов застосування авіаційних засобів ураження, що забезпечується, тощо), вектору “витратних” компонент, які визначають витрати ресурсів на реалізацію даного варіанта заміни БО (це вартість самого обладнання, вартість періодичних робіт, середні річні витрати на експлуатацію за даним варіантом тощо), вектору “льотних” компонент, 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 бортових споживачів від номінальної тощо).

4. Застосування запропонованого методичного підходу до багатокритерійного вибору складу БО бойових ЛА для їх модернізації дозволяє подолати негативний вплив зовнішньої інформації на результати вибору та підвищити обґрунтованість результатів такого вибору, але слід враховувати, що ця властивість поширюється лише на випадок вибору варіантів модернізації БО бойових ЛА,

тобто зменшення діапазону умов результативного застосування є платою за функціональність.

Напрями подальших досліджень. Подальші дослідження за представленою у статті тематикою планується здійснити у напрямі аналізу ТТХ та маркетингових показників сучасних зразків БО ЛА військового призначення та визначення пріоритетності типу ЛА для здійснення модернізації.

Список літератури

1. Артющин Л.М. Визначення результуючої множини варіантів при багатокритеріальному виборі складу бортового обладнання бойових літальних апаратів для їх модернізації / Л.М. Артющин, О.А.Кононов, В.Б.Єрко // Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – Київ: ДНДІА, 2021. – № 17 (24). – С. 20-26.
2. Кононов О.А. Методичний підхід до вибору складу і розміщення бортового обладнання літальних апаратів військового призначення при їх модернізації / О.А.Кононов, В.Б.Єрко // Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – Київ: ДНДІА, 2016. – № 12 (19). – С. 85-90.
3. Єрко В.Б. Особливості застосування методик багатокритеріального вибору варіантів модернізації бортового обладнання літальних апаратів військового призначення / О.А.Кононов, В.Б.Єрко // Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – Київ: ДНДІА, 2017. – № 13(20). – С. 55-59.
4. Большие технические системы: проектирование и управление / [Л.М.Артющин, Ю.К.Зиатдинов, И.А.Попов, А.В.Харченко / под ред. И.А.Попова.] – Харьков: Факт, 1997. – 400 с.
5. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / [А.Н.Воронин, Ю.К.Зиатдинов, А.В.Харченко, В.В.Осташевский.] – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.
6. Векторная оптимизация динамических систем / [А.Н. Воронин, Ю.К. Зиатдинов, А.И. Козлов, В.С. Чабанюк / под ред. А.Н. Воронина.] – К.: Техніка, 1999. – 284с.
7. Многокритериальная оптимизация. Математические аспекты. / [Б.А. Березовский, Ю.М. Барышников, В.И. Борзенко, Л.М. Кампнер] – М.: Наука, 1989. – 128 с.
8. Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации / Ю.К.Машунин. – М.: Наука, 1986. – 145 с.
9. Ногин В.Д. Использование набора количественной информации об относительной важности критериев в процессе принятия решений / В.Д. Ногин, И.В. Толстых // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2000, т.40, – № 11. – С. 1593 – 1601
10. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Лев Соломонович Гуткин. – М.:Советское Радио, 1975 – 366 с.
11. Соболь И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – Дрофа, 2006. – 175 с.
12. Nakayama, Hirotaka; Yun, Yeboon; Yoon, Min. Sequential Approximate Multiobjective Optimization Using Computational Intelligence (Vector Optimization) (англ.). –Springer. – [ISBN 978-3-540-88909-0](#), P. 2-12
13. Steuer, R.E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computations, and Application (англ.). – New York: John Wiley & Sons, Inc, 1986. – [ISBN 047188846X](#).
14. M. Ehrgott, X. Gandibleux. [Approximative Solution Methods for Multiobjective Combinatorial Optimization](#) (англ.) // TOP : journal. – Sociedad de Estadística e Investigación Operativa, 2004. – Vol. 12, no. 1.
15. Єрко В.Б. Науково-методичний підхід щодо побудови бортових вимірювальних систем для оцінювання технічного стану бортового обладнання літальних апаратів / В.Б.Єрко // Тези доповідей на 13 науково-практичній конференції “Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах”, 5-6 вересня 2013 р. – Феодосія: ДНВЦ ЗС України, 2013. – С. 229.
16. Алпатов В.Е. Оценка степени технико-экономического совершенства силовой установки и ее конкурентоспособности ОАО “Мотор Сич” / В.Е.Алпатов, О.Б.Анипко, В.В.Логинов // Харьков: НТУ “ХПИ”, Интегрированные технологии та энергосбережения. – 2007. – Вип. 3 – С. 66 – 70.

Надійшла до редколегії 31.10.2024

Схвалена до друку 09.12.2024

Відомості про авторів:

Єрко Віктор Борисович

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

Information about the authors:

Viktor Yerko

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

Вознюк Микола Миколайович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
заступник начальника науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9730-1376>

Mykola Voznyuk

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Deputy Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9730-1376>

Храмченко Вячеслав Анатолійович

кандидат технічних наук
доцент
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8462-4184>

Viacheslav Khrumchenko

Candidate of Technical Sciences
Associate Professor
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8462-4184>

Бабкина Татьяна Васильевна

науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2611-3631>

Tetiana Babkina

Research Associate
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2611-3631>

FORMATION OF VECTOR CRITERIA FOR SELECTION OF THE COMPOSITION OF THE ONBOARD EQUIPMENT OF COMBAT AIRCRAFT FOR THEIR MODERNIZATIONS

V. Yerko, M. Voznyuk, V. Khrumchenko, T. Babkina

The article reviews the authors' modern scientific and technical developments in the formation of vector criteria for selecting onboard equipment for combat aircraft for their modernization.

The purpose of this article is to present the results of the authors' research directly on the vector criteria for selecting the composition of onboard equipment, which will be the basis for selecting specific equipment for combat aircraft.

The scientific and methodological apparatus provided in the article is a further development of the well-known scientific school for solving vector optimization problems in the aerospace field.

The article shows the discrepancy between the existing methods for selecting the composition of onboard equipment for the modernization of combat aircraft and modern practical needs for the categorical justification of the results of selecting onboard equipment for the modernization of combat aircraft. In existing selection methods, the use of a significant amount of subjective information fundamentally limits the receipt of a justified selection result with a significant number of options for selection. The selection problem in this case is a multi-criteria problem of choosing from a given large set of possible variants of the onboard equipment composition of a significantly smaller subset of the resulting variants, which is the best relative to the system of advantages of the person who makes the choice, without receiving additional external (a posteriori) information, i.e. the selection criterion. This article proposes a scientific and methodological approach to formulating a vector criterion for selecting the composition of onboard combat aircraft for their modernization.

Further continuation of research on the subject presented in the article is planned to be carried out directly by analyzing the performance characteristics and marketing indicators of the current characteristics of the onboard equipment of combat aircraft and determining the priority of the aircraft type for current modernization.

Keywords: multi-criteria choice, modernization, combat aircraft, Pareto multiplier, vector criterion.