

УДК 629.7.017

**МАВРЕНКОВ О.Є.**, начальник науково-дослідної лабораторії, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**КАРПЕНКО О.В.**, науковий співробітник

## **МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ РЕАЛІЗОВНОСТІ**

*Стаття узагальнює результати наукових досліджень авторів по аналізу методів багатокритеріальної оптимізації, що можуть бути застосовані для вирішення задачі визначення раціонального обрису складної технічної системи у контексті обґрунтування раціональних варіантів модернізації літальних апаратів військового призначення. Наводиться постановка задачі відповідного дослідження з урахуванням техніко-технологічної реалізованості модернізації*

*Ключові слова: літальний апарат, модернізація, багатокритеріальна оптимізація, паретооптимальність, раціональний варіант, реалізованість, ризики*

Множина напрямів модернізації літального апарата (ЛА), що може містити велику кількість альтернативних технічних пропозицій, обумовлює актуальність задачі визначення раціонального варіанту його модернізації. Помилкові результати, отримані при її вирішенні в масштабі парку військових літаків, можуть привести до серйозних прорахунків у військовому будівництві і, як слідство, до зниження оборонного потенціалу держави, нераціональній витраті фінансового ресурсу.

В даний час достатньо досконало розроблені питання вирішення задач вибору раціональних варіантів обрису складних технічних систем (СТС) методами багатокритеріальної оптимізації. Однак, різноманіття цих методів породжує проблему вибору з їх числа таких, що здатні забезпечити вирішення задачі визначення раціонального варіанту модернізації ЛА на етапі проектних досліджень з достатньою функціональністю, належною точністю та мінімальною трудомісткістю розрахунків.

Аналіз робіт, присвячених методологічним питанням багатокритеріальної оптимізації, показує відсутність єдиних підходів до класифікації цих методів. Різноманітні способи такої класифікації приведені, наприклад, у роботах [1...4].

При вирішенні задачі визначення раціонального варіанту модернізації ЛА найбільш придатна, на думку авторів, класифікація методів багатокритеріальної оптимізації, що наведена в роботі [4], стосовно до функціонально-структурного проектування СТС. Це очевидно, тому що процес ухвалення рішення на

модернізацію ЛА безпосередньо пов'язаний з основними етапами такого проектування, яке визначає майбутній технічний обрис СТС.

Найбільший практичний інтерес на етапах обґрунтування технічного обрис (проектування) ЛА, що модернізується, представляють методи оптимізації СТС безпосередньо по сукупності показників якості  $y_i$ , зокрема, методи рішення задач оптимізації, що засновані на формуванні та аналізі області  $M_e$  ефективних (паретооптимальних) варіантів, побудованої у факторному просторі (просторі характеристик / параметрів СТС). Вони дозволяють вирішувати задачу по сукупності обраних критеріїв якості та здійснювати вибір раціонального (компромiсного) варіанта ЛА із числа альтернативних з урахуванням впливу різних схем їх структурної побудови, параметрів і зовнішніх умов на показники якості функціонування [4...7].

За результатами аналізу методів оптимізації СТС та їх застосування для вирішення задачі оптимізації характеристик / параметрів та функціональної структури ЛА, що підлягає модернізації, на етапах обґрунтування його технічного обрис, визначено, що в основу методики визначення раціональних варіантів модернізації ЛА доцільно покласти [8]:

метод, заснований на аналізі ефективної області варіантів системи, побудованої у факторному просторі з використанням методів теорії планування експерименту [4...7], – для знаходження множини паретооптимальних варіантів модернізації ЛА;

метод, заснований на використанні поняття "ідеальної точки" у критеріальному просторі [9...11], – для визначення з числа альтернативних (паретооптимальних) варіантів модернізації ЛА раціонального (компромiсного) варіанту.

Метод багатокритеріальної оптимізації СТС, заснований на аналізі ефективної області рішень у факторному просторі, яка побудована з використанням теорії планування експерименту, є подальшим розвитком відомої методології дослідження простору параметрів, яка була розроблена в "Институте машиноведения АН СССР им. Благонравова" та "Институте прикладной математики АН СССР им. Келдыша" [4...7].

При цьому факторний простір, на відміну від простору параметрів, включає як технічні характеристики, так і параметри структурної побудови системи, тобто величини, що відображають склад і функціональні зв'язки у системі. Включення до переліку факторів параметрів структури, тобто кількісних та якісних характеристик різних типів і модифікацій елементів, варіантів блоків, підсистем, дозволяє розширити область застосування методу дослідження простору параметрів і вирішувати задачу оптимального вибору не тільки параметрів системи, як це робиться у класичній постановці, але й одночасно обґрунтовувати функціональну структуру технічної системи [4,5].

Як фактори, що описують ЛА, як об'єкт модернізації, вибираються альтернативні варіанти реалізації його підсистем, блоки (вузли) чи/та елементи, які можуть бути встановлені на ЛА в процесі його модернізації.

Весь комплекс факторів, що описують варіанти технічної системи, утворює  $n$ -мірний простір, який складається з точок  $V$  з декартовими координатами  $V(X_1, X_2, \dots, X_n)$ .

Кожний конкретний набір  $X_j$  складає один з можливих варіантів реалізації технічної системи – точку в області  $M_\delta$  допустимих варіантів, яка відповідає системі певної структури та має певні технічні параметри.

Визначення  $M_\delta$  допустимої області варіантів модернізації ЛА здійснюється на основі зондування  $n$ -мірного простору факторів точками послідовності, що рівномірно розподілені в цьому просторі. На сьогодні найбільше застосування для багатомірного зондування знайшла рівномірно розподілена ЛПт-послідовність [6,7].

Для визначення області  $M_e$  ефективних (паретооптимальних) варіантів у факторному просторі для кожного з варіантів системи, тобто для кожної точки  $V$  у  $n$ -мірному просторі факторів  $X$ , необхідно розрахувати значення всіх показників (критеріїв) якості, за якими здійснюється вибір ефективних (паретооптимальних) варіантів систем. На цьому етапі для зменшення розмірності задачі без втрати необхідної точності оцінок застосовується методичний апарат теорії планування експерименту.

Формування  $M_e$  ефективної (паретооптимальної) області варіантів модернізації ЛА здійснюється за відомим правилом визначення парето-оптимальних альтернатив, за яким варіант модернізації ЛА  $v^e$  належить до ефективної (парето-оптимальної) області, якщо не існує іншого такого варіанту  $v$ , для якого  $K_{v^e} \geq K_v$ ,  $C_{v^e} \leq C_v$ ,  $R_{v^e} \geq R_v$  для усіх  $v = 1, V$  та хоч би для одного критерію має місце суворі нерівність  $K_{v^e} > K_v$  або  $C_{v^e} < C_v$ , або  $R_{v^e} > R_v$ .

Відомо, що порівняння паретооптимальних варіантів СТС за різними критеріями можливо тільки з залученням додаткового критерію, іменованого умовним критерієм переваги (УКП) одного значення вектора якості  $y_i$  стосовно іншого його значення [4,5]. Отже, визначення поняття прийнятності рішення за множиною критеріїв пов'язане з вибором УКП.

При вирішенні задачі вибору оптимального варіанту модернізації ЛА авторами пропонується застосовувати як УКП – відстань  $d^{II}$  до "ідеальної точки" в нормованому критеріальному просторі (за умови  $d^{II} \rightarrow \min$ ).

Відповідно до визначеного УКП кращий за сукупністю критеріїв  $y_i$  варіант модернізації ЛА з множини  $M_e$  ефективних (паретооптимальних) альтернатив, буде відповідати раціональному (компромісному) варіанту, під яким прийнято розуміти рішення багатокритеріальної задачі, що забезпечує мінімум відстані до "ідеальної точки" у нормованому критеріальному просторі.

Нормування виконується для приведення показників якості СТС різної фізичної природи до єдиної шкали вимірювання. За результатами нормування усі значення критеріїв різної фізичної природи розташовуються на одиничному відрізку [0,1].

Графічна інтерпретація визначення кращого (раціонального, компромісного) варіанту рішення з паретооптимальної області за допомогою методу мінімуму

відстані до "ідеальної точки" у критеріальному просторі для випадку трьох критеріїв ( $k_1, k_2$  – максимізуються,  $k_3$  – мінімізується) приведена на рис. 1.

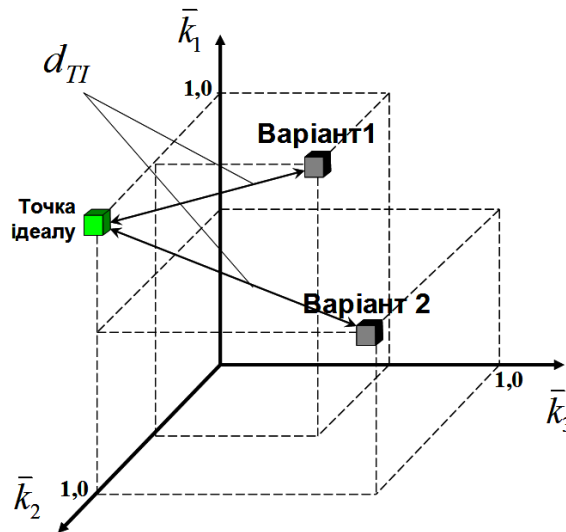


Рис.1. Графічна інтерпретація визначення кращого (раціонального, компромісного) варіанту рішення за допомогою методу мінімуму відстані до "ідеальної точки"

Загальну блок-схему методики визначення раціонального варіанту модернізації ЛА наведено на рис. 2.

Як показники якості бойового ЛА, що модернізується, доцільно прийняти:

$K_v^M$  – коефіцієнт військово-технічного рівня ЛА, що модернізується за  $v$ -им варіантом, по відношенню до цього ж ЛА до його модернізації;

$C_v^M$  – вартість  $v$ -го варіанту модернізації ЛА, як показник фінансових витрат, пов'язаних з удосконаленням ЛА;

$R_v^M$  – техніко-технологічну реалізованість  $v$ -го варіанту модернізації ЛА, як показник успішності реалізації науково-технічного проекту модернізації складної технічної системи в умовах впливу можливих ризиків комплексування нового обладнання, яке встановлюється на ЛА при модернізації.

При цьому задача розглядається у постановці багатокритеріальної безумовної оптимізації, коли критеріальними обмеженнями виступають напрями оптимізації за кожним показником (вимога його збільшення, або зменшення):

підвищення (максимізація) військово-технічного рівня ЛА, що модернізується за  $v$ -им варіантом  $K_v^M \rightarrow \max$ ;

зменшення (мінімізація) фінансового ресурсу, що виділяється на модернізацію ЛА  $C_v^M \rightarrow \min$ ;

збільшення (максимізація) рівня техніко-технологічної реалізованості проекту модернізації ЛА за  $v$ -им варіантом  $R_v^M \rightarrow \max$ .

Таким чином, при дослідженнях, що пов'язані з системним аналізом та визначенням кращого варіанта модернізації ЛА з числа альтернативних на основі багатокритеріальної безумовної оптимізації необхідно: сформувати область  $M_\delta$

можливих (альтернативних) варіантів модернізації ЛА; кількісно оцінити показники якості, за якими оцінюються кожний з альтернативних варіантів модернізації ЛА; визначити область  $M_e$  ефективних (паретооптимальних) варіантів модернізації ЛА; визначити раціональні (компромісні) варіанти модернізації ЛА з області  $M_e$ .

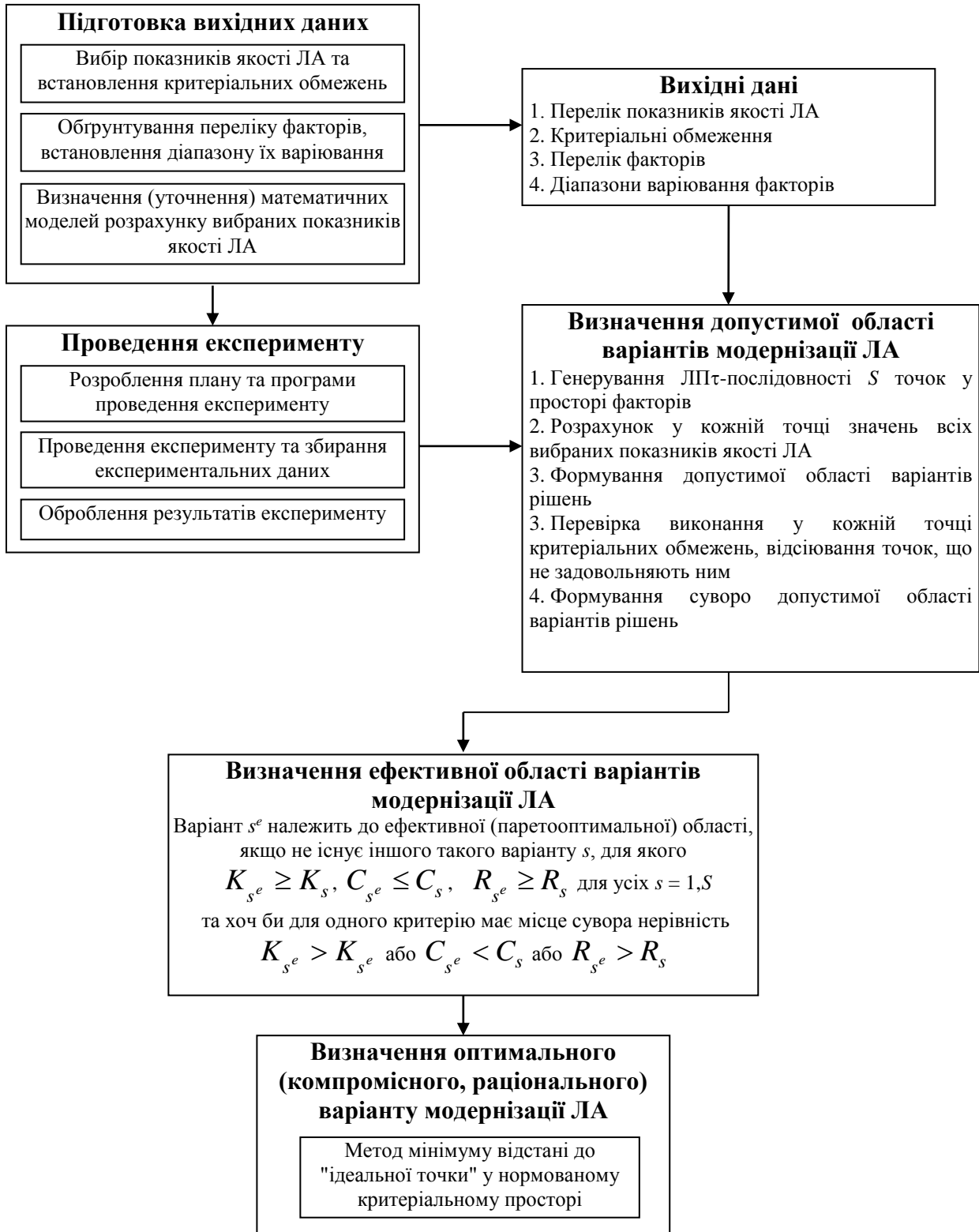


Рис. 2. Загальна блок-схема методики визначення раціонального варіанту модернізації ЛА

Подальші напрями досліджень за представленою тематикою повинні стосуватися розроблення (удосконалення) методичних апаратів (алгоритмів) оцінювання військово-технічного рівня ЛА, що модернізується, та техніко-технологічної реалізованості проектів модернізації ЛА.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. – М.: Сов. радио, 1975. – 367 с.
2. Дубов Ю.А., Травкин С.Н., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы. – М.: Наука, 1986. – 285 с.
3. Ириков В.А., Ларин В.Я., Самушенко Л.М. Алгоритмы и программы решения прикладных многокритериальных задач // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1986, № 1. – С. 5-14.
4. Большие технические системы: проектирование и управление /Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко / Под ред. И.А. Попова.–Харьков: Факт, 1997.– 400 с.
5. Попов И.А. Исследование и проектирование больших технических систем. / Попов И.А., Скворцов В.В., Мицитис А.К. – К.: КИ ВВС, 1995. – 252 с.
6. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями: Монография / Соболев И.М., Статников Р.Б. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ДРОФА, 2006. – 175 с.
7. Статников Р.Б. Многокритериальное проектирование машин: Монография / Статников Р.Б., Матусов И.Б. – М.: Знание, 1989. – 45 с.
8. Мавренков О.Є. Багатокритеріальна оптимізація при виборі раціональних варіантів модернізації літаків військового призначення / Мавренков О.Є., Улізько В.І. // Зб. наук. праць ДНДІА. – К., 2006. – Вип.9. – С.160 -165.
9. Бусленко Н.Т. Моделирование сложных систем: Монография / Бусленко Н.Т. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
10. Калашников А.В. Сложные системы их методы их анализа: Монография / Калашников А.В.– М.: Знание, 1980. – 64 с.
11. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов / Тарасик В.П. – Мн.: ДизайнПРО, 2004. – 604 с.

*Надійшла до редакції 29.10.2018  
Рецензент: ДТН Зіатдінов Ю.К.*