

Г.Т. Горохов, О.І. Скляр

*Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ*

## **МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВІЙСЬКОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ СТРАТЕГІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ АГРЕГАТИВ СИСТЕМ ПЛАНЕРА ВЕРТОЛЬОТІВ**

*Розглянуто проблемні питання військово-економічної оцінки стратегії технічної експлуатації за технічним станом агрегатів систем планера військово-транспортних вертольотів. Вибір раціональних шляхів впровадження стратегії технічної експлуатації за станом передбачає аналіз конструктивно-експлуатаційних властивостей агрегатів та визначення переліку агрегатів, що визначають економічну доцільність стратегії. В основу методичного підходу покладено дослідження цільової функції, в якій за критерій якості вибрано оцінку бойової готовності при мінімізації часу робіт і витрат на експлуатацію агрегатів. Пропонується для пошуку оптимального переліку агрегатів застосовувати методи дискретного програмування задач комбінаторного типу, а також результати дослідження статистичних моделей.*

**Ключові слова:** системи планера вертольота, технічна експлуатації за станом, економічні витрати на експлуатацію.

### **Вступ**

Результати проведених досліджень та досвід експлуатації повітряних суден вказують на високу ефективність стратегії технічного обслуговування авіаційної техніки за станом.

Однак, стосовно агрегатів систем планера вертольотів як об'єктів технічного обслуговування, ще необхідно провести ряд досліджень, що обумовлені особливостями їх модульного розміщення в конструкції вертольотів, а також технологічними труднощами доступу до окремих модулів.

Методичні положення щодо напрямку робіт під час експлуатації за технічним станом повітряних суден Збройних Сил України приведено в нормативному документі [1, с. 30].

У теперішній час фахівцями інженерно-авіаційної служби (ІАС) експлуатація агрегатів систем планера вертольотів здійснюється згідно з методами стратегії експлуатації  $C_{\Phi}$ , яка спрямована на виконання фіксованого обсягу робіт стосовно ресурсу напрацювання та строків служби вертольотів.

Стратегії експлуатації за технічним станом  $C_{TC}^I$  та  $C_{TC}^{II}$  мають характерні особливості методів обслуговування та обсягу робіт під час застосування стратегії експлуатації за технічним станом.

Стратегія  $C_{TC}^I$  спрямована на виконання робіт з контролем показників надійності за результатами

обробки даних щодо відмов, а стратегія  $C_{TC}^{II}$  – експлуатація за результатами оцінки значень параметрів, які характеризують технічний стан агрегатів планера до передвідмов [2, с. 30].

**Постановка проблеми.** Наявність на практиці обмеженої кількості старіючого парку вертольотів приводить до появи проблемних питань стосовно визначення раціональних стратегій експлуатації агрегатів систем планера.

До проблемних питань слід віднести питання, які пов'язані з працевитратами та часом їх виконання ІАС, а також існуючий взаємозв'язок між вартістю робіт, що виконуються під час експлуатації агрегатів планера та реальним фінансовим забезпеченням ІАС.

Крім цього, розробка стратегій  $C_{TC}^I$  та  $C_{TC}^{II}$  технічного обслуговування агрегатів систем планера повинна передбачати можливість коригування стратегій залежно від поточного стану агрегатів упродовж строку служби від початку експлуатації до списання.

Доцільність впровадження в діяльність ІАС замість існуючої стратегії  $C_{\Phi}$  двох інших видів стратегій  $C_{TC}^I$ ,  $C_{TC}^{II}$  потребує розробки експлуатаційної моделі, за допомогою якої можливо провести порівняльний аналіз ефективності стратегій з урахуванням дії факторів експлуатації, що призводять до зменшення строків служби та заданих показників надійності.

Постановка завдання військово-економічної оцінки стратегій  $C_{TC}^I$ ,  $C_{TC}^{II}$  полягає в наступному.

Необхідно визначити перелік агрегатів, які доцільно перевести з експлуатації за стратегією  $C_\Phi$  до стратегій експлуатації за технічним станом  $C_{TC}^I$ ,  $C_{TC}^{II}$ .

Перелік агрегатів може коригуватись залежно від заданого командуванням часу  $\Delta T_{ЗД}$  виконання робіт з контролю технічного стану агрегатів, а також з урахуванням економічних сторін діяльності ІАС.

Пошук раціонального переліку агрегатів доцільно провести на основі методичного апарату проектування складних технічних систем, згідно з яким необхідно передбачити використання скалярної цільової функції [3, с. 137].

Значенням цільової функції для дослідження військово-економічної оцінки стратегій виберемо значення коефіцієнта бойової готовності  $K_{БГ} = f(K_{ТВ}, V_{ЗД}, B, A)$ , яке базується на дотриманні умов безпеки польотів [2, с. 139].

У цільовій функції  $K_{БГ}$  аргументами передбачається наявність показників:

$K_{ТВ}$  – коефіцієнт технічного використання вертольотів [4, с. 52];  $V_{ЗД}$  – коефіцієнт наданого обсягу фінансового забезпечення вартості робіт під час експлуатації вертольотів;  $\hat{A}$  – питома вартість технічного обслуговування та ремонту, яка обчислюється відповідно до витрат, що були здійснені для підтримки справності обладнання з урахуванням працевитрат, а також часом експлуатації. При цьому в необхідність витрат доцільно включити оцінку можливості виявлення відмов за наявністю засобів контролю;

$A = \{a^l\}$ ,  $(l=1, \dots, n)$  – множина  $n$  варіантів переліку агрегатів, які експлуатуються за стратегією  $C_{TC}^I$ . Кількість елементів  $n$  обчислюється відповідно до комбінаторного співвідношення розміщення:

$$n = A_k^r = \frac{k!}{(k-r)!},$$

де  $k$  – набір різних можливих елементів із загального переліку  $r$  агрегатів.

Стратегію  $C_{TC}^{II}$  в подальшому не розглядаємо, оскільки в практиці експлуатації для значного відсотка агрегатів немає засобів контролю.

Кількість показників в аргументах цільової функції можливо збільшити в разі необхідності оцінки стратегії  $C_{TC}^I$  за іншими показниками.

Постановка задачі належить до постановки задач пошуку оптимальних рішень методами дискретного програмування на основі теорії дослідження операцій [5, с. 123].

Таким чином, необхідно знайти варіант із загального переліку агрегатів  $\{a^l\}$ , який забезпечить оптимальне максимальне значення цільової функції  $(K_{БГ})_{OPT}$  при заданих обмеженнях на коефіцієнт  $V_{ЗД}$ . Складність вказаної задачі пошуку  $(K_{БГ})_{OPT}$ , обумовлена великою кількістю альтернативних варіантів, що потребує застосування комбінаторних методів пошуку оптимальних значень.

Актуальність завдання визначення раціонального сполучення стратегій  $C_\Phi$  та  $C_{TC}^I$  експлуатації агрегатів систем планера вертольотів пояснюється вимогами, що існують на практиці виконання робіт у заданий час  $\Delta T_{ЗД}$ , у тому числі при веденні бойових дій, а також виникаючими змінами обсягів фінансування, що можуть надаватися ІАС.

#### **Аналіз попередніх досліджень та публікацій.**

Вирішення проблем розробки стратегії експлуатації за технічним станом агрегатів функціональних систем повітряних суден розглянуто в роботі [6, с. 150]. Запропоновано варіант побудови моделі системи технічної експлуатації із застосуванням методу статистичного моделювання на основі марківського процесу.

Основними критеріями при визначенні стратегії  $C_\Phi$ ,  $C_{TC}^I$ ,  $C_{TC}^{II}$  для агрегатів функціональних систем є рівень безпеки польотів, справність парку повітряних суден та економічна ефективність вибраного варіанту стратегії.

З метою не проведення повного перебору всіх варіантів можливих стратегій для множини  $A = \{a^l\}$  пропонується заздалегідь виключити неперспективні стратегії. Для цього необхідно дослідити вплив відмов на безпеку польотів та тенденцію змін інтенсивності відмов.

Статистичні моделі систем експлуатації літакових комплексів у процесі життєвого циклу детально досліджено в роботі [7, с. 126]. Взаємозв'язок економічних показників та експлуатаційних характеристик дав змогу сформулювати оптимальну програму експлуатації літакових комплексів.

У програмі передбачено вирішення задачі оптимізації параметрів системи підтримки літакових комплексів у готовності до застосування шляхом оптимізації кількості періодичних

перевірок показників надійності та коригування строків технічного обслуговування.

Проведено аналіз структури економічних витрат під час експлуатації літальних комплексів. Витрати стосуються особового складу ІАС, підтримки в готовності до застосування, проведення доробок та удосконалення.

Теоретичні основи побудови моделей технічної експлуатації авіаційних систем розглянуто в роботі [8, с. 272]. Досліджено математичні моделі керованих випадкових процесів під час проведення робіт із відновлення справного стану систем. Наведено результати імітаційного моделювання.

Однак, у вищевказаних статистичних моделях не досліджено вплив факторів експлуатації, які внаслідок малого обсягу даних мають статистичну невизначеність, і які також впливають на вибір варіанту агрегатів, щодо яких доцільно застосувати стратегію  $C_{TC}^I$ .

Методи автоматизованого структурного синтезу конструкції літальних апаратів при умовах деякої невизначеності досліджено в роботі [9, с. 236]. Значну увагу приділено вибору показників ефективності для визначення оптимальних параметрів конструкції та обґрунтування шляхів вирішення задач синтезу раціональної структури літальних апаратів шляхом дискретного програмування.

Внаслідок невизначеності початкових даних у процесі структурного синтезу пропонується застосувати комбінаторні методи пошуку оптимальних рішень згідно теорії дискретного програмування.

Проблемні питання побудови комбінаторних моделей та методи їх апроксимації при вирішенні задач прийняття рішень розглянуто в роботі [10, с. 22]. Досліджено комбінаторні моделі лінійного та групового впорядкування при вирішенні задач аналізу якості машинобудівної продукції.

Опис алгоритмів комбінаторного аналізу та програмних засобів на мові Паскаль викладено у роботі [11, с. 84]

Результати досліджень, які отримано у вищевказаних роботах, дають змогу їх використати під час обґрунтування методичного підходу до військово-економічної оцінки стратегії експлуатації за станом агрегатів систем планера вертольотів.

**Мета статті** передбачає розробку методичного підходу до математичного забезпечення імітаційної моделі військово-економічної оцінки стратегій експлуатації агрегатів систем планерів військово-транспортних вертольотів.

## **Виклад основного матеріалу**

Аналіз конструктивно-експлуатаційних характеристик агрегатів дає змогу виділити групу агрегатів у кількості  $r$ , надійність яких безпосередньо визначає безпеку польотів. Кількість агрегатів вказаної групи не перевищує 30 одиниць, що створює можливості під час подальших статистичних обчислень вважати їх зрізаною малою вибіркою [12, с. 23].

Необхідно зауважити, що формалізованого розмежування на “малі” та “великі” виборки не існує. Тому можна вважати, що статистична достовірність оцінок залежить не тільки від обсягу вибірки, але, головним чином, від коректності формування бази даних.

Задачі структурного синтезу малої вибірки агрегатів шляхом пошуку необхідного переліку агрегатів, як правило, комбінаторні та пов’язані з вибором визначеної комбінації варіантів із заданого набору груп однорідних типових елементів.

Необхідно підкреслити особливості розрахункової моделі структурного синтезу, що відрізняють її від традиційних задач нелінійного програмування:

невпорядкування значень цільової функції та обмежень для дискретних змінних;

припущення щодо можливості використання апроксимації цільової функції у вигляді сепарабельного опису.

Пошук оптимального варіанту передбачає виконання комбінаторного аналізу на графах на відміну від крокових алгоритмів випадкового пошуку, які застосовуються в задачах нелінійного програмування. Результати методичних проб комбінаторного аналізу на всій множині рішень у загальному випадку можуть бути описані у вигляді матриці (табл. 1).

Розрахунок значень коефіцієнта бойової готовності  $K_{БГ}$  рекомендовано виконувати на основі середнього часу знаходження агрегату вертольоту в станах [7, с. 103]:

готовності до застосування та в працездатному стані;

у несправному, але працездатному стані, при якому є готовність до застосування. Очікується відновлення після встановлення несправності;

агрегат помилково визнано несправним, але працездатний.

Для обчислення середнього часу необхідно виконати статистичну обробку даних експлуатації.

Таблиця 1

Матриця множини можливих рішень у процесі структурного синтезу

|                                                          |     | Комбінації варіантів множин $A = \{a^l\}$ |                |     |                |     |                |
|----------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|
|                                                          |     | 1                                         | 2              | ... | $i$            | ... | $n$            |
| Кількість агрегатів, переведених на стратегію $C_{TC}^l$ | 1   | $K_{BG}^{1,1}$                            | $K_{BG}^{2,1}$ | ... | $K_{BG}^{i,1}$ | ... | $K_{BG}^{n,1}$ |
|                                                          | 2   | $K_{BG}^{1,2}$                            | $K_{BG}^{2,2}$ | ... | $K_{BG}^{i,2}$ | ... | $K_{BG}^{n,2}$ |
|                                                          | ... | ...                                       | ...            | ... | ...            | ... | ...            |
|                                                          | $j$ | $K_{BG}^{1,j}$                            | $K_{BG}^{2,j}$ | ... | $K_{BG}^{i,j}$ | ... | $K_{BG}^{n,j}$ |
|                                                          | ... | ...                                       | ...            | ... | ...            | ... | ...            |
|                                                          | $k$ | $K_{BG}^{1,k}$                            | $K_{BG}^{2,k}$ | ... | $K_{BG}^{i,k}$ | ... | $K_{BG}^{n,k}$ |

Джерело: розроблено авторами.

Використовуючи припущення щодо наявності для цільової функції властивості сепарабельності, її можливо представити у вигляді

$$K_{BG} = f_1(K_{TB}, A) + f_2(B_{3AD}, T_{3AD}) + f_3(B, A).$$

Пошук оптимального значення  $(K_{BG})_{OPT}$  доцільно проводити при обмеженнях:

$$B_{MIN} \leq B_{3AD} \leq B_{MAX};$$

$$T_{3AD} = const.$$

Процес перебору дискретних змінних та відповідних обчислень цільової функції дає змогу отримати значення  $K_{BG}$  і в подальшому його зміни  $\Delta K_{BG}$ .

У результаті комбінаторного аналізу формуються групи з варіантів агрегатів, визначаються закони функцій розподілу агрегатів у групах та виконується з визначеною достовірністю ймовірнісна оцінка найкращого варіанту [9, с. 36].

Серед факторів, які визначають показник  $K_{BG}$ , доцільно дослідити фактори впливу обсягу фінансового забезпечення  $B_{3AD}$  та відповідну вартість витрат  $B$  на перелік агрегатів, що можливо експлуатувати за стратегією  $C_{TC}^l$ .

Обсяг фінансового забезпечення  $B_{3AD}$  може змінюватися в межах  $(B_{MIN} \div B_{MAX})$ .

Збільшення  $B_{3AD}$  до  $B_{MAX}$  має за мету зменшення часу  $\Delta T$  обробки даних щодо оцінки фахівцями ІАС технічного стану агрегатів і виконання робіт.

Однак, збільшення  $B_{3AD}$  з метою зменшення часу відновлення вертольотів може не привести до зменшення часу  $\Delta T$ . Вказана особливість пояснюється неможливістю в практичній діяльності ІАС забезпечити обсяг робіт, який

необхідно виконати внаслідок відсутності в технічних підрозділах ІАС потрібної кількості контрольно-вимірювальної апаратури, обладнання, запасних частин і матеріалів.

Загальний економічний ефект від впровадження стратегії  $C_{TC}^l$  складається на основі часткових показників  $(\Delta f_1)_{OPT}$ ,  $(\Delta f_2)_{OPT}$  та  $(\Delta f_3)_{OPT}$ , які характеризують зміни коефіцієнту  $\Delta K_{BG}$  залежно від обсягу  $B_{3AD}$  та вартісних витрат  $B$ .

На рис. 1 показано приклад пошуку значення  $(K_{BG})_{OPT}$  на основі  $(\Delta K_{BG} \rightarrow \max)$  за результатами дослідження двох функцій:  $f_1(K_{TB}, A)$  та  $f_3(B, A)$ . Функція  $f_2(B_{3AD}, T_{3AD})$  використовується для встановлення обмежень. Тенденція зменшення  $B$  впливає на тенденцію зменшення  $K_{BG}$ , що пояснюється змінами ймовірностей знаходження агрегатів у вищезазначених трьох станах. Зменшення  $B$  пояснюється зменшенням значення комбінаторного числа  $k$ .

У точці  $A$  значення  $K_{BG}$  співвідноситься зі значними витратами  $(B_{3AD} = B_{MAX})$  для забезпечення  $(\Delta K_{BG} \rightarrow \max)$ .

Однак, в точці  $A$  приріст ефективності цільової функції  $\Delta K_{BG} = 0$  дорівнює нулю, оскільки мають місце обмеження на умови діяльності реально працюючих робочих груп ІАС із усунення відмов та відновлення справності вертольотів.

У точці  $B$  приріст ефективності цільової функції  $\Delta K_{BG}$  також дорівнює нулю, тому що зменшена вартість  $B$  дає змогу забезпечити роботу тільки невеликої кількості робочих груп  $i$ , відповідно,  $(\Delta K_{BG} \rightarrow \min)$ .

Усередині області, яка обмежена лініями  $K_{BG}$  та  $B$ , приріст ефективності перебільшує витрати і

крива лінії приросту цільової функції  $\Delta K_{БГ}$  має екстремум, який відповідає умові найбільшої економічної ефективності за показниками оптимальному часу виконання робіт та

оптимальними сумарними витратами на забезпечення роботи робочих груп ІАС.

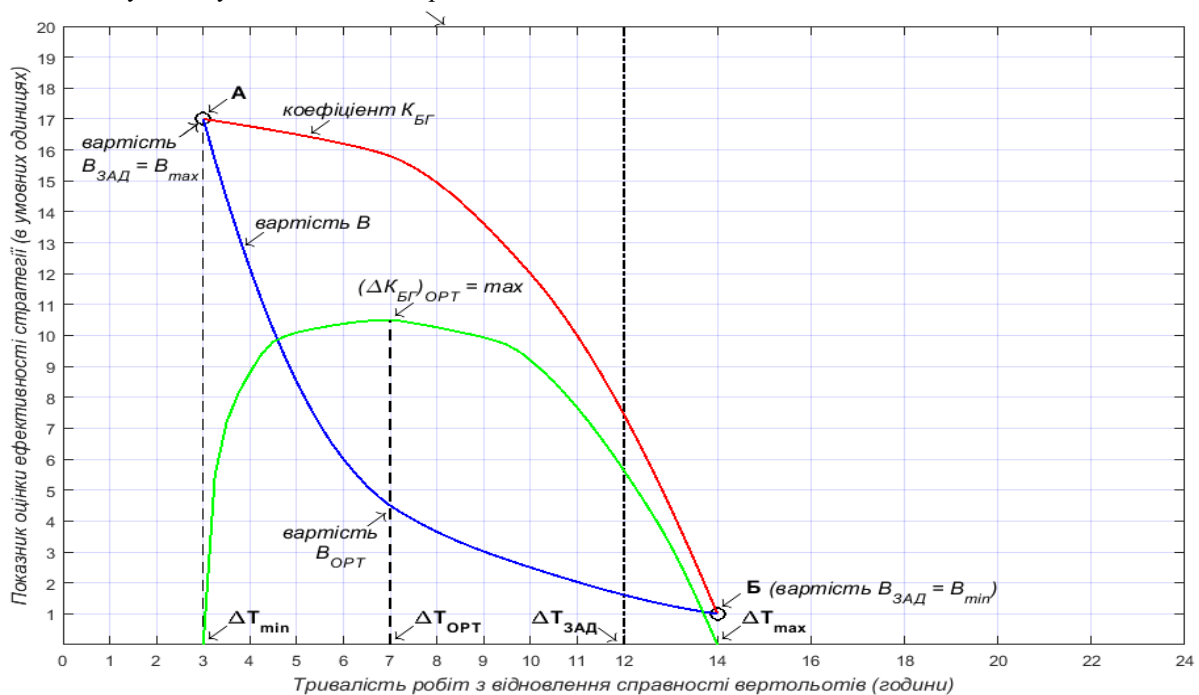


Рис.1. Визначення оптимального значення економічної ефективності на основі показника  $\Delta K_{БГ}$  та вартості  $B$ .

Джерело: розроблено авторами.

Таким чином, реалізація методичного підходу до побудови моделі військово-економічної оцінки стратегії експлуатації агрегатів планера вертольотів передбачає отримання відповідних оцінок ефективності в результаті імітаційного моделювання стратегій з використанням методів комбінаційного аналізу.

### Висновок

Запропонований методичний підхід до математичного забезпечення імітаційної моделі військово-економічної оцінки дає змогу обґрунтовано вибрати перелік агрегатів, які доцільно перевести зі стратегії експлуатації при

фіксованому обсязі робіт стосовно напрацювання та строків служби на стратегію технічної експлуатації за станом з контролем показників надійності. При цьому передбачено дотримання оптимальних строків підтримки справності старіючого парку вертольотів з найменшими витратами.

**Напрямок подальших досліджень** полягає в розробці алгоритмів комбінаторного аналізу та визначенні законів функцій розподілу, які отримано в результаті статистичної обробки даних експлуатації.

### Список літератури

1. Військовий стандарт 01.204.001 (Видання 2) Інженерно-авіаційне забезпечення. Порядок переведення військової авіаційної техніки на експлуатацію за технічним станом. Терміни та визначення. – МО України, чинний від 04.09.2019.
2. Організація експлуатації військової авіаційної техніки: підруч. / [В. І. Соловйов, І. П. Коровін, С. М. Коротін та ін.]; за ред. В. І. Соловйова. – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2016. – 196 с.
3. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Харченко А.В., Осташевский В.В. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / Монография. – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.
4. Филиппов В.В. Надежность и техническая эксплуатация авиационной техники. В кн.: Проблемы надежности летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1985. – С. 48-62.
5. Ржевський С.В., Александрова В.М. Дослідження операцій: Підручник. – К.: Академвидав, 2006. – 560 с. (Альма-матер).

6. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. -2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
7. Волков Л.И. Управление эксплуатацией летательных комплексов: Учеб. пособие.- М.: Высш. школа, 1981. – 368 с.
8. Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф. Эксплуатация авиационных систем по состоянию : (Элементы теории). – М.: Транспорт, 1981. – 197 с.
9. Мишин В.П., Осин М.И. Введение в машинное проектирование летательных аппаратов. М., “Машиностроение”, 1978. – 128 с.
10. Белкин А.Р., Левин М.Ш. Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 160 с.
11. Липский В. Комбинаторика для программистов: Пер. с польск. –М.: Мир, 1988. – 213 с.
12. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. М.: Статистика, 1978. – 248 с.

*Надійшла до редколегії 20.10.2023*

*Схвалена до друку 20.11.2023*

***Відомості про авторів:***

**Горохов Георгій Тітович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
провідний науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1479-816X>

**Скляр Олександр Іванович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
[skljjar.alex@ukr.net](mailto:skljjar.alex@ukr.net)  
<https://orcid.org/0000-0002-4776-8821>

***Information about the authors:***

**Heorhii Horokhov**

Candidate of Technical Sciences Senior  
Researcher  
Leading Researcher  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1479-816X>

**Oleksandr Ivanovych Sklyar**

Candidate  
of Technical Sciences  
Senior Researcher  
Senior Researcher  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
[skljjar.alex@ukr.net](mailto:skljjar.alex@ukr.net)  
<https://orcid.org/0000-0002-4776-8821>

**METHODOLOGICAL APPROACH TO THE MILITARY-ECONOMIC ASSESSMENT OF  
OPERATIONAL STRATEGIES ACCORDING TO THE TECHNICAL CONDITION OF UNITS  
OF HELICOPTER GLIDER SYSTEMS**

*H. Horokhov, O. Sklyar*

*Problematic issues of the military-economic assessment of the strategy of technical operation based on the technical condition of airframe systems units of military transport helicopters are considered. The choice of rational ways of implementing the strategy of technical operation according to the state involves the analysis of the structural and operational properties of the aggregates and the determination of the list of aggregates that determine the economic feasibility of the strategy. The basis of the methodical approach is the study of the objective function, in which the assessment of combat readiness while minimizing the time of work and costs for the operation of units is chosen as the quality criterion. It is suggested to use the methods of discrete programming of combinatorial type problems, as well as the results of the study of statistical models of operation data processing, to find the optimal list of aggregates.*

*For the development of combinatorial methods, a formalized description of the list of aggregates in the form of graph structures was used. The vertices of the graph are determined on the basis of a statistical truncated small sample. In order not to carry out a complete search of all variants of possible strategies, an approximation of the information of combinatorial models is proposed.*

*Keywords: helicopter airframe systems, technical operation by condition, economic costs of operation.*