

І.О. Буліч, О.Г. Карасьов, Г.О. Шумілін

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО ДВИГУНА ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ ПРИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

У статті запропоновано підхід до визначення еквівалентних двигунів для оцінки технічного стану та визначення можливостей щодо продовження призначених ресурсних показників та подальшої експлуатації авіаційних двигунів Повітряних Сил Збройних Сил України, який базується на застосуванні методу аналізу ієрархій. Запропонований підхід дозволяє не лише класифікувати двигуни за ступенем пошкодженості, але й приймати рішення щодо можливості продовження їх ресурсних показників на основі узгоджених експертних оцінок та інструментальних досліджень еквівалентних двигунів.

Ключові слова: авіаційний двигун, призначені ресурсні показники, метод аналізу ієрархій, експертна оцінка.

Вступ

Постановка проблеми. Підтримання заданого рівня справності авіаційної техніки є одним із пріоритетних завдань для Збройних Сил, особливо коли військові ресурси обмежені, а потреба у продовженні призначених ресурсних показників існуючих парків авіадвигунів стає критичною. У сучасних умовах експлуатації авіаційної техніки, коли більшість авіаційних двигунів відпрацювала призначені розробником ресурсні показники, важливе місце займає питання їх продовження. Це завдання включає не лише технічне обслуговування й відновлення, але й науково-обґрунтовану оцінку доцільності подальшої експлуатації авіадвигунів з урахуванням їхнього фактичного стану та можливостей ремонту.

Продовження призначених показників передбачає виконання комплексу досліджень і робіт щодо визначення можливості експлуатації виробів авіаційної техніки і озброєння (АТіО) за межами встановлених значень призначених показників, а також розробку і реалізацію заходів по забезпеченню їх надійної експлуатації на продовжений період і здійснюється відповідно до “Порядку продовження (збільшення) встановлених показників виробів авіаційної техніки державної авіації, за якими не здійснюється авторський нагляд” [1].

Основними етапами робіт з дослідження технічного стану виробів АТіО є:

дослідження на базі авіаремонтних підприємств (АРП);

дослідження в умовах експлуатуючих частин;

індивідуальна оцінка кожного виробу в експлуатації;

оцінка повноти та достатності виконаних робіт та досліджень для визначення можливості продовження призначених показників.

Поява нечисленних парків двигунів ставить під сумнів можливість вилучення з них двигунів для досліджень на АРП. Крім того, проведення самих досліджень стає економічно недоцільними.

Один з шляхів вирішення цієї проблеми – використання в якості об’єкту дослідження технічного стану еквівалентного двигуна.

В якості еквівалентних авіаційних двигунів при вирішенні питання відносно продовження ресурсних показників приймаються такі двигуни, які тотожні по впливу умов застосування на їх ресурсні показники. При цьому, результати досліджень таких еквівалентних двигунів можуть бути використані при вирішенні питань відносно можливості продовження ресурсних показників цьому парку двигунів, а також і еквівалентному парку двигунів.

У цьому випадку змінюється прийнята схема проведення досліджень: визначається тип двигуна, який може виступити еквівалентним, і результати оцінки його пошкодженості розповсюджуються на основний парк двигунів.

Розробка переліку робіт робиться вже з урахуванням особливостей конструктивного виконання, надійності, контролепридатності парку двигунів, яким потрібне продовження, і оцінки пошкодженості еквівалентного двигуна.

Прийняття рішення в цих умовах можливо із застосуванням методів теорії ухвалення рішення. До них відносяться методи теорії корисності [2, 3],

які носять аксиометричний характер, методи теорії перспектив [4...6], що базуються на грі з вірогідносними результатами, і метод аналізу ієрархій (МАІ), який спирається на багатокритерійний опис проблеми і дозволяє оцінювати альтернативи на основі узгоджених експертних оцінок [7, 8]. МАІ знайшов широке практичне застосування через свою простоту і наочність, але не має суворого наукового обґрунтування і більше примикає до евристичних методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематику і підходи до оцінки технічного стану і продовження призначених показників авіаційних двигунів розглянуто в працях [9...11].

У них розглянуто оцінку технічного стану двигунів з урахуванням сучасних методів діагностики для забезпечення їх надійності та можливості продовження призначених показників.

Подальшому розвитку багатокритерійного вибору рішення присвячені роботи [12, 13]. У [12] розглядаються методи багатокритерійного вибору, включаючи МАІ, у сфері управління складними технічними об'єктами, у [13] – проблема кількісної та якісної оцінки проблемних ситуацій.

Використання методу МАІ для оптимізації технічного обслуговування авіадвигунів, зокрема у військових частинах, розглянуто в [14].

Метою статті є обґрунтування можливості використання результатів досліджень технічного стану еквівалентного двигуна для визначення стану і можливості продовження ресурсних показників авіаційних двигунів різних парків.

Виклад основного матеріалу

Для продовження призначених показників авіаційної техніки необхідно мати чітко визначену методологію, яка дозволить класифікувати її за ступенем пошкодженості. Метод аналізу ієрархій дозволяє знайти оптимальні рішення при розв'язанні складних задач для будь-яких виробів авіаційної техніки при чітко поставленому завданні, обґрунтованому виборі критеріїв та наявності досвідчених експертів.

За допомогою метода МАІ можливо визначати еквівалентні двигуни, технічний стан яких є репрезентативним для оцінки всього парку двигунів. Це надає можливість зменшити витрати на діагностику та ремонт, а також оптимізувати процеси прийняття рішень щодо продовження експлуатації.

Використання МАІ у військовій авіації є перспективним для забезпечення комплексної оцінки двигунів, оскільки цей метод дозволяє формалізувати вибірковий підхід і мінімізувати потребу у залученні великої кількості двигунів для

тестування. Оскільки МАІ передбачає порівняння за ключовими критеріями, такими як конструкційні характеристики, матеріали, умови зберігання та експлуатації, він дозволяє визначити пріоритети між варіантами продовження ресурсу та сформувати рекомендації щодо оптимальних рішень.

Першим етапом застосування МАІ є структуризація (декомпозиція) проблеми вибору і представлення задачі в ієрархічній формі (рис. 1).



Рис. 1. Декомпозиція задачі в ієрархічну форму
Джерело: розроблено авторами

На вищому рівні знаходиться мета – у нашому випадку це еквівалентний двигун, на другому – чинники, що уточнюють мету, і на третьому – альтернативи (двигуни-кандидати).

Чинники були обрані, виходячи з поставленої мети - відбір еквівалентного двигуна, тотожного по впливу перевищення призначеного показника на його технічний стан.

В якості альтернатив обрані авіаційні двигуни, що експлуатуються в Збройних Силах України.

Після ієрархічного відтворення проблеми встановлюються пріоритети критеріїв і оцінюються кожна з альтернатив за цими критеріями.

Закон ієрархічної безперервності вимагає, щоб елементи нижнього рівня ієрархії були порівнянні попарно по відношенню до їх дії (вазі або інтенсивності) до елементів наступного рівня і так далі до вершини ієрархії.

Система парних відомостей призводить до результату, який може бути наданий у вигляді зворотної симетричної матриці. Елементом матриці $\alpha(ij)$ є інтенсивність прояву елемента ієрархії (i) відносно елемента ієрархії (j), яка оцінюється за шкалою інтенсивності відносної важливості від 1 до 9 (таблиця 1).

Побудова матриці попарних порівнянь для критеріїв починається з другого рівня ієрархії. Для цього будується матриця розмірністю по числу чинників.

Таблиця 1

Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості (бал)	Визначення	Пояснення
1	Однакова важливість	Однаковий внесок до мети двох ознак
3	Помірна перевага одного над іншим	Досвід і судження мають незначну перевагу однієї ознаки над іншою
5	Суттєва або сильна перевага	Досвід і судження мають значну перевагу однієї ознаки над іншою
7	Значна перевага	Однієї ознаки надається настільки сильна перевага, що вона стає практично значною
9	Дуже сильна перевага	Очевидність переваги однієї ознаки діяльності над іншою підтверджується найбільш сильно
2, 4, 6, 8	Проміжні рішення між двома сусідніми судженнями	Використовуються в разі компромісу

Джерело: (7, с. 68)

Таблиця заповнюється шляхом попарного порівняння чинників з рядка і стовпця по відношенню до мети. Значення оцінок, що надаються експертами [7, с. 42...45] (таблиця 2), вписуються в осередки, утворені перетином відповідного рядка і стовпця.

Наступний етап - побудова матриць парних порівнянь для кожної з альтернатив (третій рівень)

- по одній матриці для кожного чиннику (другий рівень). Кожній альтернативі дається числова (бальна) оцінка по кожному чиннику з таблиці 2. Чинникам приписуються кількісні ваги, що характеризують їхню порівняльну важливість. Значення попарних порівнянь по кожному чиннику зводяться в табличному вигляді (таблиця 3).

Таблиця 2

Попарне порівняння чинників

Фактори, що впливають на технічний стан ГТД	конструктивно-компоновочна схема	конструкційні матеріали	агрегати та комплектуючі вироби	контролепридатність	зовнішні умови	умови експлуатації	умови зберігання
конструктивно-компоновочна схема	1	1/3	1/5	1/2	1/7	1/9	1/8
конструкційні матеріали	3	1	1/2	1/2	1/3	1/6	1/5
агрегати та комплектуючі вироби	5	2	1	2	3	5	2
контролепридатність	2	2	1/2	1	6	8	6
зовнішні умови	7	3	1/3	1/6	1	1/2	1/7
умови експлуатації	9	6	1/5	1/8	2	1	1/6
умови зберігання	8	5	1/2	1/6	7	6	1

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3

Матриця значень попарних порівнянь компонентів для альтернатив

Конструктивно-компоновочна схема	АЛ-31Ф	РД 33-2С	АЛ-21Ф-3	Р-95Ш	Д-30КП	АИ-25ТЛ	ТВ3-117ВМА
АЛ-31Ф	1	1	4	5	7	2	6
РД 33-2С	1	1	4	5	7	3	5
АЛ-21Ф-3	1/4	1/4	1	3	2	1/4	2
Р-95Ш	1/5	1/5	1/3	1	2	1/5	1
Д-30КП	1/7	1/7	1/2	1/2	1	1/3	1/2
АИ-25ТЛ	1/2	1/3	4	5	3	1	2
ТВ3-117ВМА	1/6	1/5	1/2	1	2	1/2	1

Джерело: розроблено авторами

Після проведення експертних оцінок щодо критеріїв другого та третього рівнів формується матриця для визначення оцінки компоненту власного вектора по рядкам.

Отримавши суму оцінок власних векторів,

обчислюються нормалізовані оцінки вектору пріоритету для кожного критерію.

Математичний опис проведення розрахунків за методом МАІ наведено на рис. 2.

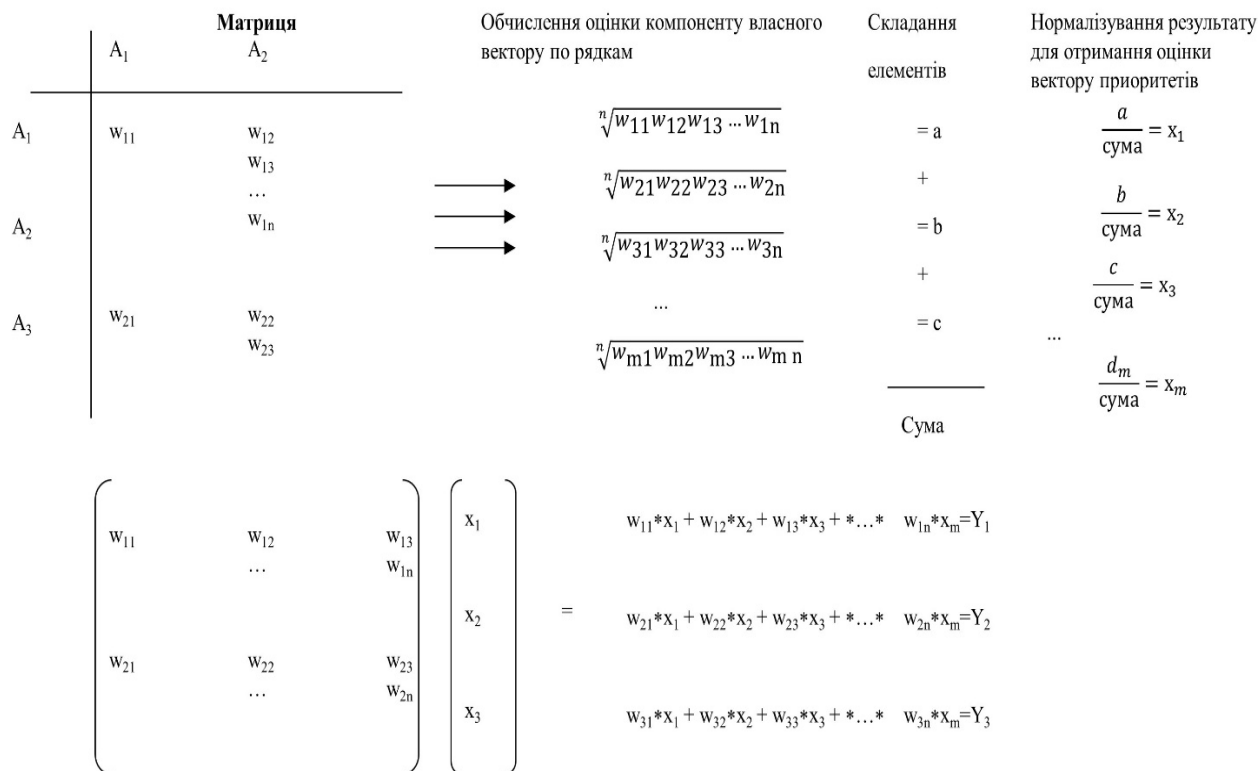


Рис. 2. Математичний опис розрахунків за методом МАІ

Джерело: розроблено авторами за матеріалами [7]

З групи матриць парних порівнянь формується набір локальних пріоритетів, які виражають відносний вплив визначених альтернатив на чинники другого рівня.

Підраховуються значення глобального пріоритету для кожної з альтернатив, як сума

добутків значення вектору пріоритету для чинника і значення вектору локального пріоритету цієї альтернативи відносно цього критерію (таблиця 4). Визначення еквівалентності двигунів формується за наближенням значень узагальнених (глобальних) пріоритетів.

Значення глобального пріоритету								
Альтернативи	Конструктивно-компоновочна схема	Конструкційні матеріали	Агрегати і комплектуючі вироби	Контролепридатність	Зовнішні умови	Умови експлуатації	Умови зберігання	Узагальнені (глобальні) пріоритети
	Чисельне значення вектору пріоритету							
	0,0271	0,0516	0,2674	0,2659	0,0752	0,0957	0,2172	
АЛ-31Ф	0,3562	0,3496	0,3708	0,4360	0,2831	0,1667	0,2109	0,3258
РД33-2С	0,3305	0,3277	0,2529	0,2349	0,2123	0,1169	0,1861	0,2235
АЛ-21Ф-3	0,0244	0,0397	0,0297	0,0566	0,0616	0,4262	0,2614	0,1279
Р-95Ш	0,0195	0,0649	0,0844	0,0483	0,0808	0,0860	0,0901	0,0732
Д-ЗОКП-2	0,0472	0,0298	0,0686	0,0480	0,0775	0,0347	0,0405	0,0519
ТВ3-117ВМА	0,1432	0,1285	0,1441	0,0000	0,1955	0,0980	0,1339	0,1022
АИ-25ТЛ	0,0790	0,0597	0,0494	0,0533	0,0892	0,0716	0,0770	0,0629

Джерело: розроблено авторами

З наведеного аналізу визначення еквівалентності парків ГТД авіації ЗС України з точки зору продовження призначених показників можливо сформулювати такі еквівалентні групи:

АЛ-31Ф, РД 33-2С, АЛ-21Ф-3, ТВ3-117;
Р-95Ш, АИ-25ТЛ, Д-ЗОКП.

Висновки

Таким чином, при прийнятті рішення про продовження призначених показників, наприклад двигуна АЛ-31Ф, доцільно використовувати інформацію про результати досліджень технічного

стану, надійності парку та досвіду експлуатації з продовженими призначеними показниками еквівалентних двигунів, а саме – РД-33-2С, АЛ-21Ф-3, ТВ3-117.

Напрями подальших досліджень.

Застосування методу аналізу ієрархій для аналізу й корегування обсягу робіт і перевірок з метою продовження експлуатації авіаційної техніки на черговий етап в умовах дії правового режиму воєнного стану доцільно провести у майбутніх дослідженнях.

Список літератури

1. “Порядок продовження (збільшення) встановлених показників виробів авіаційної техніки державної авіації, за якими не здійснюється авторський нагляд”, затверджений наказом МО України № 68 від 16.02.2015, який зареєстрований в Міністерстві юстиції України 03 березня 2015 року за № 244/26689. – 11 с.
2. Оуэн Г. Теория игр. – М.: Мир, 1971. – 230 с.
3. Кини Р., Райф Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
4. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
5. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. – М.: Наука, 1973. – 127 с.
6. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Харченко А.В., Осташевский В.В. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования. Харьков, 1997. – 239 с.
7. Саати Т. Приняття рішень. Метод аналізу ієрархій. К.: Наукова думка, 2009. – 315 с.
8. Шинин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении: Учеб. пособие. Киев: Дело, 2000. – 180 с.
9. Ковальов В.П., Литвиненко С.В. Оцінка технічного стану авіадвигунів для забезпечення продовження ресурсу. Зб. наук. праць НАУ, 2022, № 2, – С. 64–72.
10. Пилипчук А.В. Забезпечення надійності та продовження ресурсу авіадвигунів тактичної авіації. Вісник Національного авіаційного університету, 2021, № 3, – С. 50–57
11. Чубуков А. С. Анализ и прогнозирование технического состояния авиационных двигателей. М.: Машиностроение, 2020. – 68 с.

12. Морозов В. В., Іванова О. С. Методи підтримки прийняття рішень в умовах багатокритеріального вибору. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2018. – 120 с.
13. Харченко О.В., Зіатдінов Ю.А., Воронін А.М. Багатокритеріальна оцінка проблемних ситуацій. ДНДІА. – 36. наук. праць, Вип. 16(23), 2020. – С. 189-194.
14. Котов М.О., Шевченко Д.А. Застосування методу аналізу ієрархій для оптимізації технічного обслуговування авіадвигунів. Наукові праці ОНАЗ, 2019, № 1, – С. 80-88.

Надійшла до редколегії 05.11.2024

Схвалена до друку 05.12.2024

Відомості про авторів:

Буліч Ігор Олексійович

заступник начальника науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-1201-6475>

Карасьов Олександр Григорович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-1967-9127>

Шумілін Геннадій Олександрович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-6974-3692>

Information about the authors:

Ihor Bulich

Deputy Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-1201-6475>

Oleksandr Karasov

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0002-1967-9127>

Hennadii Shumilin

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-6974-3692>

**APPLICATION OF THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD TO DETERMINE DETERMINATION
OF AN EQUIVALENT ENGINE TO CONTINUE THE DESIGNATED INDICATORS OF AIRCRAFT
ENGINES**

I. Bulich, O. Karasov, G. Shumilin

The article presents a methodology for identifying equivalent aircraft engines with the objective of assessing their technical condition and extending service life indicators, taking into account the limitations of funding and technical capabilities currently faced by the Armed Forces of Ukraine. The authors put forth the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for the selection of engines whose technical condition can serve to represent the overall state of the entire operational fleet.

The necessity of maintaining the technical condition of aviation equipment and extending its operational lifespan in wartime and under resource constraints is clearly demonstrated. The primary phases of the project entail research at aviation repair facilities and operational units, in addition to a comprehensive assessment of each engine.

The article's core presents a comprehensive account of the application of AHP, which facilitates the structured selection of equivalent engines. The methodology entails the establishment of a hierarchy, with the objective (the selection of an equivalent engine) situated at the highest level. This is followed by the identification of factors (such as construction materials and operating conditions) and the subsequent categorization of alternatives (candidate engines). Through a process of pairwise comparison of alternatives based on key criteria, priorities are determined, which allows for recommendations regarding the extension of resources.

Keywords: aircraft engine, assigned service life indicators, analytic hierarchy process, expert assessment.