

Г.Т. Горохов, В.М. Гришин, О.І. Склад

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОГО ОБЛІКУ АРГУМЕНТІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛАНЕРА ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Дослідження проведено з використанням одного із частних критеріїв безпеки польотів: загальна ймовірність невиникнення відмови елементів конструкції планера та його систем. Введено показник, що характеризує інтенсивність експлуатації, який обчислюється як відношення нальоту до часу експлуатації, впродовж якого польоти звершувались. Значення інтенсивності дозволяє встановити зв'язок поміж нальотом і строком експлуатації. Зроблено припущення, що, коли існує значна інтенсивність, то можливо задати позитивний допуск стосовно нальоту та строку проведення профілактичних робіт. В іншому випадку, коли згідно з оцінками експертів інтенсивність незначна, задати від'ємний допуск. У математичній моделі пошуку мінімальних строків профілактичних робіт та визначення кількості груп фахівців інженерно-авіаційної служби передбачено використання методів імітаційного моделювання випадкових процесів разом із використанням методу групового обліку аргументів. Метод групового обліку аргументів реалізує низку алгоритмів поступового ускладнення моделі шляхом многократної селекції.

Ключові слова: безпека польотів, ймовірність відмови, інженерно-авіаційне забезпечення.

Вступ

Сучасному етапу експлуатації військової авіаційної техніки присутня особливість, яка обумовлена наявністю старіючого парку повітряних суден (ПС), і яка полягає в необхідності достовірних даних щодо можливості продовження експлуатації ПС.

Нормативна документація, яка регламентує та використовується в процесі технічної експлуатації ПС, попередньо розроблялась на основі обробки даних стосовно нових зразків об'єктів військової авіаційної техніки, коли вони починали надходити до існуючої системи технічної експлуатації.

Впродовж певного часу під впливом умов реальної експлуатації технічний стан об'єктів військової авіаційної техніки зазнавав змін, які попередньо неможливо було передбачити. Наприклад, зросла інтенсивність польотів і навантаження на конструкцію планера ПС та його системи, особливо під час ведення бойових дій.

Тому виникала необхідність корегування і внесення змін до відповідної нормативної документації, в тому числі, що стосується строків виконання різнопланових профілактичних робіт для підтримання в справному стані конструкцію планера ПС та його систем і забезпечення умов безпеки польотів.

Під час процесу проведення польотів технічне обслуговування планера ПС виконується за допомогою окремих груп із фахівців інженерно-

авіаційної служби. Кількість груп залежить від ступеню пошкодження та заданих строків приведення ПС в справний стан.

Постановка завдання та його актуальність.

Для забезпечення умов безпеки польотів шляхом застосування раціональних методів виконання робіт в процесі технічного обслуговування N планерів ПС та його систем необхідно визначити ймовірність $P_{\text{бп}}$ прогнозу справного стану ПС протягом інтервалу завершення польотів τ , а також кількість груп m фахівців інженерно-авіаційної служби, яке забезпечить мінімальне значення сумарного часу простою ПС з причини їх технічного обслуговування, а також максимальне завантаження кожної групи впродовж заданого строку $T_{\text{зад}}$.

Введемо цільову функцію $P_{\text{бп}} = F(Y)$,

аргументами якої є відповідні змінні:

$$P_{\text{бп}} = F(P, \tau, t_{\text{д}}, t_{\text{в}}, x_{\text{с}}, v_{\text{в}}, N, m, T_{\text{зад}}), \quad (1)$$

де: P – ймовірність відмови в польоті; $t_{\text{д}}$ – час проведення діагностичних робіт; $t_{\text{в}}$ – час робіт із відновлення пошкоджень; $x_{\text{с}}$ – сукупність значень діагностичних параметрів x_i ($i = 1 \div s$) в вигляді S вимірною випадкового вектора; $v_{\text{в}}$ – кількість робіт із відновлення справного стану.

Постановка завдання полягає в дослідженні цільової функції (1) для пошуку оптимальної кількості груп фахівців інженерно-авіаційної служби, які спроможні для інтервалу прогнозу польоту τ в визначені строки виконати роботи з підтримки справності елементів конструкції планера ПС та його систем, в тому числі тих, що мають бойові пошкодження.

Актуальність визначення строків проведення профілактичних робіт на старіючих конструкціях планера ПС та його систем пояснюється необхідністю своєчасно приймати обґрунтовані рішення щодо відновлення справності і забезпечення умов безпеки польотів.

Вказану особливість можливо врахувати на основі використання в математичних моделях прогнозу методів імітаційного моделювання випадкових процесів та методу групового обліку аргументів.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз результатів роботи [1] вказує на достатньо розвинений науково-методичний апарат застосування методу групового обліку аргументів для моделювання складних систем під час пошуку оптимальної структури моделі прогнозу.

Побудова прогнозуючих трендів реалізується як напрямок індукційного моделювання в різних областях застосувань складних технічних систем.

Наприклад, для приладів технічної діагностики диференціальних сигналів вимірювання [2]. Також з метою інформаційної підтримки операційних рішень досліджується процес застосування методу групового обліку аргументів у виробничій практиці машинобудування [3].

У роботі [4] розроблена методика раціонального технічного обслуговування газотурбінних двигунів, яка забезпечує оптимізацію допустимого розкладу робіт в умовах реальної експлуатації. При цьому розглянуто методи імітаційного моделювання для попередньої підготовки даних щодо можливості використання методу групового обліку аргументів в процесі визначення оптимальної кількості груп фахівців інженерно-технічного складу.

Результати вказаних робіт дозволяють провести необхідні дослідження стосовно елементів конструкції планера ПС і надати методичний апарат обґрунтування та прийняття управлінських рішень щодо прогнозу відсутності відмови під час польоту ПС і забезпечення умов безпеки польотів при використанні старіючої конструкції планера та його систем.

Мета статті спрямована на дослідження функціональних залежностей і алгоритмів згідно методу групового обліку аргументів в

математичних моделях, за допомогою яких можливо в результаті обробки баз даних реальної експлуатації ПС провести пошук оптимальних рішень щодо забезпечення безпеки польотів, в тому числі з урахуванням строків відновлення справності планера та його систем.

Виклад основного матеріалу

Розробка аналітичного опису цільової функції (1) потребує прийняття цілого ряду припущень та обмежень стосовно значень аргументів, що приводить до неадекватних оцінок роботи реальної системи технічного обслуговування планерів ПС.

Тому для вирішення задачі дослідження цільової функції використано метод покомпонентної оптимізації, коли функція, що оптимізується, розглядається як функція меншої кількості окремих функцій та змінних. В нашому випадку доцільно прийняти для цільової функції використання трьох функцій, відповідно критеріям:

P – ймовірність невиникнення відмови елементів конструкції планера та його систем, як одного з частних критеріїв безпеки польотів;

$\Delta\tau$ – позитивний чи від'ємний допуск до нормативних показників, що попередньо використовували для продовження експлуатації планерів ПС;

m – кількість груп фахівців інженерно-авіаційної служби, які виконують роботи технічного обслуговування планера ПС.

Пошук оптимального значення цільової функції (1) потребує знаходження максимальних значень критеріїв P та $\Delta\tau$, а також мінімального значення m .

Ймовірність P складається з трьох множників: P_B – ймовірність несподіваних відмов, P_Φ – ймовірність відмов фізичного зносу, P_C – ймовірність відмов природного старіння.

Якщо прийняти припущення, що відмови розподілені незалежно одна від одної, то ймовірність невиникнення відмови в польоті можливо представити в вигляді [5].

$$P = P_B \times P_\Phi \times P_C, \quad (2)$$

де розрахунок ймовірностей виконується згідно законів: експоненціального – для P_B , нормального – для P_Φ та P_C .

Розрахунок ймовірності P передбачає використання функціональних залежностей ймовірностей P_B , P_Φ та P_C :

$$P_B = e^{-\lambda_B \tau}, \quad (3)$$

$$P_C = \frac{1}{J\sigma_C\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \frac{((\tau/J) - a_C)^2}{2\sigma_C} d\tau \quad P_B = e^{-\lambda_B\tau}, \quad (4)$$

де: λ_B – інтенсивність раптових відмов; a_Φ та a_C – математичне очікування нальоту на фізичний знос та природне старіння.

На рисунку 1 показано, як щільність відмов внаслідок старіння елементів планера та його систем зсувається відносно попереднього положення вздовж осі календарного строку, що не приводить до значної зміни ймовірності P .

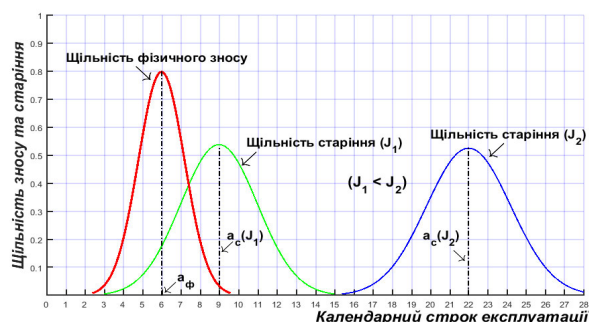


Рис. 1. Вплив календарного строку експлуатації на щільність ймовірності фізичного зносу та природного старіння

Джерело: розроблено авторами

Таким чином, зменшення значення ймовірності P , в основному, визначається впливом раптових відмов і фізичного зносу.

Для подальшого аналізу введемо показник J , який характеризує інтенсивність експлуатації ПС і обчислюється як відношення нальоту τ до часу експлуатації t , впродовж якого політ здійснюється:

$$J = \frac{\tau}{t} \quad (6)$$

Значення інтенсивності J дозволяє встановити зв'язок поміж нальотом і строком експлуатації, а також дотримання необхідного значення P ймовірності умов безпеки польотів.

Як приклад, на рисунку 2 показано результати порівняльного аналізу інтенсивностей J_1 , J_2 , J_3 і, відповідно, прийняття експертами рішення щодо умовного позитивного допуску $+\Delta\tau$ для інтенсивності J_3 , або від'ємного допуску $-\Delta\tau$ для інтенсивності J_1 .

Основними положеннями пошуку раціонального технічного обслуговування планерів ПС і їх систем при використанні значень інтенсивності J експлуатації планерів є

застосування методики, в якій рекомендується виконання наступних етапів:

По-перше, розробка імітаційної моделі процесу технічного обслуговування планерів ПС в процесі їх експлуатації.

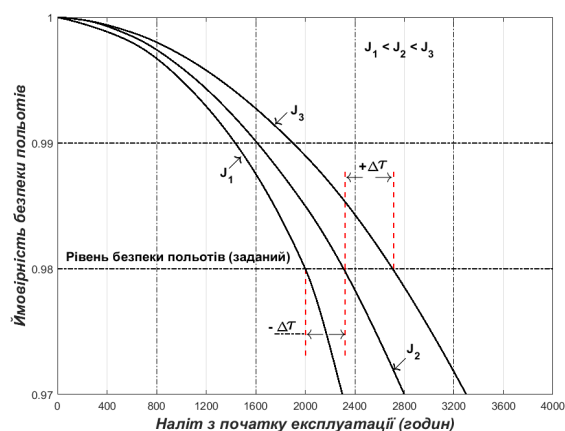


Рис. 2. Результати порівняльного аналізу інтенсивностей J_1 , J_2 , J_3 експлуатації планера

Джерело: розроблено авторами

Для цього визначаються функціональні закони ймовірностей розподілу кількості пошкоджень на планерах та закінчення моментів часу виконання діагностичних робіт на авіаційних конструкціях. Використовуються статистичні методи обробки даних реальної експлуатації [6].

В подальшому на основі використання методів експертних оцінок проводиться кластерний аналіз переліку робіт із відновлення справності планерів ПС та можливих допусків $\Delta\tau$ до нормативних показників. При цьому використовуються методи теорії нечітких множин для прийняття експертами рішень в умовах деякої невизначеності щодо значень параметрів діагностування [7].

Здійснення імітаційного моделювання передбачає прогноз змін значень параметрів x_S на основі використання методів аналізу випадкових процесів у вигляді розкладу подієвності системі функцій [8]:

$$x(t) = m(t) + \sum_{v=1}^N V_v \varphi_v(t) \quad (7)$$

де: $m(t)$ – математичне очікування випадкового процесу; φ_v – невідомі функції часу, які визначають ортогональні функції; V_v – випадкові коефіцієнти, що некорельовані поміж собою.

Вказаний розклад дозволяє на основі минулих значень параметрів діагностування елементів планера ПС виконати індивідуальний прогноз

ймовірності виходу параметра за межі значень зони допусків справного стану.

По-друге, з використанням алгоритмів самоорганізації методу групового обліку аргументів доцільно провести пошук оптимальної кількості m_{opt} робочих груп фахівців інженерно-авіаційної служби.

Якщо кількість m груп $m < m_{opt}$ чи $m > m_{opt}$, то існує ймовірність P_{ϕ} можливості виникнення помилок фахівців внаслідок поспішності виконання робіт в заданий строк $T_{зад}$ або відволікання на інші роботи.

Особливості алгоритмів самоорганізації методу групового обліку аргументів стосуються прийняття рішень шляхом вибору деякої множини рішень, що близькі до оптимального.

На основі вищезазначеного введемо функцію

$$\varphi(u) = \sum_{j=1}^{r_i} t_{ij} \quad (8)$$

де: t_{ij} – час відновлення i -ой групою фахівців j -го планера; $i = (1 \div m)$; $j = (1 \div r_i)$; r_i – кількість планерів, що відновлюються i -ой групою за час $T_{зад}$.

Задається множина можливих рішень

$$u = (u_1 \div u_N). \quad (9)$$

Потрібно знайти максимум функції (8), яку доцільно розглядати як критерій селекції. На підставі вказаного критерія можливо встановити максимальне використання професіональних навиків кожної групи фахівців.

Логічна схема алгоритма обчислень функції $\varphi(u)$ передбачає наступні дії.

Спочатку обчислень в пам'яті комп'ютера задається зона селекції обсягом $M \times N$, до якої вносяться випадкові рішення (9) на основі закону рівномірного розподілу. Символ M позначає константу алгоритма, яка дорівнює кількості рішень.

В процесі подальших обчислень в зоні селекції залишаються рішення, яким відповідають більші значення критерію (8). Таким чином, знаходиться рішення щодо оптимального значення кількості груп m_{opt} .

Третій етап полягає в підготовці рішень на основі використання методів вирішення багатокритеріальних задач [9] під час обчислення значень цільової функції (1).

Висновок

Таким чином, впровадження математичних моделей прогнозування оцінки ймовірності забезпечення умов безпеки польотів на основі застосування методу теорії нечітких множин та методу групового обліку аргументів дозволить вдосконалити оброблення інформації щодо стану ПС у реальному режимі часу, покращити ефективність та обґрунтованість рішень щодо подальшої експлуатації та використання за призначенням ПС, забезпечить можливість особі, що приймає рішення, розв'язувати проблеми та завдання, пов'язані з технічною експлуатацією та бойовим застосуванням ПС авіації ЗС України.

Напрями подальших досліджень.

Передбачено продовжувати дослідження щодо визначення бази правил системи нечіткого висновку під час вибору експертами прогнозуємих допусків змін параметрів технічного стану планерів ПС, а також можливих значень часу робіт із діагностики та відновлення справного стану планера ПС.

Список літератури

1. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей.- К.: Техніка, 1985; Берлин: ФЕБ Ферлаг Техник, 1984. – 223 с.
2. Суровцев І.В., Степашко В.С., Мороз О.Г. Побудова моделі базової лінії диференціальних сигналів вимірювання. Control system and computer: acad. and research j.. – Kyiv 2024 №4 (308). С. 61-67.
3. Токова О.В., Степашко В.С., Савченко-Синякова Є.А., Дорошенко В.С. Моделювання ливарних процесів з метою інформаційної підтримки операційних рішень у виробничій практиці. XV Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2023.
4. Ватан Н.И. Методика рационального технического обслуживания газотурбинных двигателей летательных аппаратов на основе метода группового учета аргументов. Диссертация кандидата технических наук, 1991.
5. Финадорин Г.А. Методология корректирования парка летательных аппаратов с целью обеспечения безопасности полетов. Диссертация доктора технических наук. Киев – 1991.
6. Коваленко І.П. Математична статистика у прикладах і задачах. Навчальний посібник. – К.: Видавничий Дім "Слово", 2012. – 496 с.
7. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности.- К.: "МП Леся", 2015. – 347 с.
8. Кудрицкий В.Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание реализаций случайных функций. – К.: ФАДА, ЛТД, 2001. – 176 с.

9. Воронин А.Н. Нелинейная схема компромиссов в многокритериальных задачах оценивания и оптимизации // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №4. – С. 106–114.

Надійшла до редколегії 29.10.2024

Схвалена до друку 25.11.2024

Відомості про авторів:

Горохов Георгій Тітович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
[https:// orcid.id:0000-0002-1479-816X](https://orcid.id:0000-0002-1479-816X)

Гришин Володимир Михайлович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3353-7819>

Скляр Олександр Іванович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.id: 0000-0002-4176-8821>

Information about the authors:

Heorhii Horokhov

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

Heorhii Horokhov

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

Oleksandr Sklyar

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.id: 0000-0002-4176-8821>

**APPLICATION OF THE METHOD OF GROUP ACCOUNTING OF ARGUMENTS FOR
DETERMINING THE MAINTENANCE PERIODS OF AIRCRAFT AIRFRAMES**

H. Horokhov, V. Hryshyn, O. Sklyar

The study was conducted using a target function, which was chosen as one of the partial flight safety criteria: the overall probability of no failure occurring in the structural elements of the airframe and its systems. The overall probability consists of three separate factors: the probability of unexpected failures, the probability of physical wear, and the probability of natural aging.

The calculation of the probabilities of the individual factors is performed according to the following laws: the exponential law for unexpected failures, and the normal law for physical wear and natural aging.

An indicator characterizing the operational intensity of aircraft was introduced, which is calculated as the ratio of flight hours to the total operating time during which flights are performed. Based on the analysis of the influence of intensity on flight safety, it was assumed that, given a specified probability of flight safety and in the case of high intensity, it is possible to allow a positive tolerance regarding the timing of preventive maintenance. Conversely, when the intensity, according to expert evaluation, is low, a negative tolerance should be applied.

The mathematical model for determining the minimum duration of preventive maintenance and the number of specialist groups in the engineering and aviation service involves the use of simulation modeling methods combined with action scheduling theory and the Method of Group Accounting of Arguments (MGUA).

The Method of Group Accounting of Arguments implements a series of algorithms for gradually complicating the model through multilevel selection.

Determining the rational maintenance of the aircraft airframe fleet and its systems based on the Method of Group Accounting of Arguments involves the consistent implementation of the following provisions: first - justification of the probability distribution laws for failure occurrence based on statistical processing of operational data; second - clustering of the list of tasks for restoring the serviceability of aviation equipment; third - expert evaluation of the time required for repair work; fourth - application of simulation modeling methods and the Method of Group Accounting of Arguments.

Keywords: flight safety, failure probability, engineering and aviation support.