

УДК 621.45

М.В. Гудков

Миколаївський спеціалізований центр бойової підготовки авіаційних фахівців
Збройних Сил України, Миколаїв

МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Розглядається одна з методик визначення оптимального значення інтервалу контролю параметрів бортового обладнання при експлуатації авіаційної техніки (АТ) за станом з контролем параметрів. Методика ґрунтується на застосуванні методів векторної (багатокритеріальної) оптимізації.

Ключові слова: інтервал контролю параметрів, технічний стан, критерії оптимізації, алгоритм прогнозування, інтервал безвідмовної роботи, вартість експлуатації, канонічні розклади, випадкові функції, експлуатація за станом, авіаційна техніка.

Вступ

Постановка задачі. Важливість завдань які покладені на бортове обладнання (БО) авіаційної техніки (АТ), часто робить відмову в роботі цього обладнання подією надзвичайною [1, 2, 3], тому низький рівень надійності значно збільшує вартість експлуатації АТ [3].

Вочевидь, для збільшення надійності при експлуатації за станом потрібно зменшувати інтервали контролю параметрів, що у свою чергу збільшує вартість експлуатації.

Таким чином виникає протиріччя між вартістю експлуатації і надійністю складових АТ у продовж їх життєвого циклу.

Аналіз останніх матеріалів. На сучасному етапі розвитку військової авіації, коли здійснюється перехід від планово-поряджувального методу експлуатації АТ на експлуатацію за станом і суттєвому обмеженні фінансування Збройних Сил України, виникає потреба оптимізації вартості експлуатації при не погіршенні показників надійності АТ [4].

Одним з показників, від якого залежить якісні показники процесу експлуатації БО АТ за станом є інтервал контролю параметрів τ .

На сьогоднішній день задача визначення інтервалу контролю параметрів в процесі експлуатації БО АТ вирішується у переважній більшості випадків евристичними методами, які ґрунтуються на досвіді експлуатації та вимогами регламентуючих документів, наприклад [5].

Із зростанням вимог до вартості експлуатації і надійності АТ неформальні методи прийняття рішення втрачають свою ефективність [2, 6]. Звідси виникає необхідність оптимізації вартості експлуатації АТ, яка застосує більш суворі підходи при визначенні інтервалу контролю параметрів, що і є **метою статті**.

Постановка задачі. Аргументом оптимізації, у нашому випадку, виступає інтервал контролю пара-

метрів τ . Кількісні показники (критерії якості), що характеризують якість процесу експлуатації, визначимо, як витрати на експлуатацію $C'(\tau)$ та рівень надійності БО АТ $P(\tau)$ при $\tau \in \tau_d$, де τ_d – діапазон допустимих значень інтервалу контролю параметрів. Тоді, математичною моделлю процесу експлуатації БО АТ буде виступати цільова функція [8]:

$$y = f(\tau), \quad (1)$$

де $f(\tau)$ – функція, яка зв'язує критерії якості з аргументом оптимізації τ .

У свою чергу, показники $C'(\tau)$ та $P(\tau)$ (критерії якості) утворюють вектор:

$$y = \{C'(\tau), P(\tau)\}, \quad (2)$$

що дозволяє застосувати методи векторної (багатокритеріальної) оптимізації [8]. Метою досліджень є розробка методики оптимізації витрат на експлуатацію БО АТ при забезпеченні завданого рівня надійності. Виходячи з цього, завдання оптимізації сформулюємо, як знаходження такого $\tau \in \tau_d$ при якому цільова функція (1) досягає екстремального (мінімального) значення. З урахуванням (2), вираз (1) запишемо у вигляді:

$$\tau^* = \arg \min_{\tau \in \tau_d} Y(y), \quad (3)$$

де $Y(y)$ – скалярна функція, яка має смисл скалярної скрутки вектору критеріїв (2), вид якої залежить від обораної схеми компромісів.

Основний матеріал

Із збільшенням величини інтервалу контролю вартість експлуатації і прогнозована оцінка надійності зменшуються [1 – 3], що не забезпечує виконання умов застосування методів багатокритеріальної оптимізації – суперечливість критеріїв. Для подо-

лання цієї ситуації перетворимо залежність прогнозованої оцінки надійності $\tilde{D}(\tau)$ в прогнозовану оцінку імовірності відмови $Q(\tau)$ за формулою:

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau). \quad (4)$$

З урахуванням (4) цільову функцію (3) запишемо як:

$$\tau^* = \arg \min_{\tau \in \tau_{\tilde{a}}} \{C'(\tau), Q(\tau)\}, \quad (5)$$

де $C'(\tau)$ – вартість експлуатації, $Q(\tau)$ – прогнозована оцінка імовірності відмови в області визначення;

$\tau \in \tau_{\tilde{a}}$, $\tau_{\tilde{a}}$ – діапазон допустимих значень інтервалу контролю параметрів.

Припустимо, що у результаті спостереження отримано L експериментально знятих реалізацій $x_1(t_i)$ $1 = \overline{1, L}$ процесу експлуатації об'єктів контролю БО АТ у дискретні моменти часу t_i , $i = \overline{1, I}$ та періодично проводяться вимірювання значення $x(\mu)$ $L+1$ -го об'єкту в моменти часу t_μ , $\mu = \overline{1, k}$ параметра x ($k < I$) (контроль параметрів). На підставі отриманої інформації з урахуванням (5) обчислюється прогнозована оцінка імовірності відмови $Q(\tau)$ [7].

В той же час, величину витрат $\tilde{N}'(\tau)$ на експлуатацію АТ на одну льотну годину обчислимо за формулою [6]:

$$\tilde{N}_0 = (\tilde{N}_{\tilde{O}\tilde{A}} / R_{\tilde{E}\tilde{A}})(1 + u), \quad (6)$$

$$C_{TO} = C_T(T_{TE} + T_{BP}) + C_{Зч} + C_H, \quad (7)$$

де C_{TO} – витрати на технічне обслуговування за цикл експлуатації;

$R_{\tilde{E}\tilde{A}}$ – ресурс ЛА;

u – інші льотні витрати;

$\tilde{N}_{\tilde{O}}$ – витрати на 1 людину/годину робіт з технічної експлуатації та військового ремонту;

$\tilde{O}_{\tilde{A}\tilde{A}}$ – працевитрати на технічну експлуатацію за цикл експлуатації ЛА;

$\tilde{O}_{\tilde{A}\tilde{D}}$ – працевитрати на військовий ремонт за той же період;

\tilde{N}_{C_x} – витрати на придбання запасних частин та витратних матеріалів при технічному обслуговуванні за весь цикл експлуатації;

\tilde{N}_f – витрати на придбання КПА, інструменту та інших засобів наземного обслуговування та забезпечення.

Аналізувати та зіставляти компоненти вектору цільової функції у (5) можна коли критерії якості мають однакову розмірність. В нашому випадку, прогнозована оцінка імовірності відмови $Q(\tau)$ –

безрозмірна величина, а вартість експлуатації $\tilde{N}'(\tau)$ має розмірність грошових одиниць. Для подолання цієї несумісності здійснимо нормування критерію $\tilde{N}'(\tau)$:

$$C(\tau) = C'(\tau) / C^0, \quad (8)$$

де $\tilde{N}(\tau)$ – нормована вартість експлуатації;

\tilde{N}^0 – максимальне значення функції вартості експлуатації в області визначення $\tau \in \tau_{\tilde{a}}$.

Розраховані за значення $\tilde{N}(\tau)$ та $Q(\tau)$ використаємо для апроксимації цих функцій наближаючими залежностями. У якості апроксимуючої функції обемо усічені поліноми другого порядку (без попарних множин) [8].

Тоді з урахуванням (8) критеріальні функції набудуть вигляд:

$$C(\tau) = \frac{c_0 + c_1\tau + c_2\tau^2}{C'} \quad (9)$$

$$Q(\tau) = q_0 + q_1\tau + q_2\tau^2 \quad (10),$$

де $\tau \in \tau_{\tilde{A}}$ – значення інтервалу контролю параметрів, що належать області допуску;

$c_0, c_1, c_2, q_0, q_1, q_2$ – коефіцієнти регресійної моделі розраховані методом найменших квадратів для функцій вартості експлуатації та прогнозованої оцінки відмови відповідно.

Тому як, рішення будь-якої векторної задачі оптимізації може бути тільки компромісно-оптимальним [8] використаємо полярні схеми компромісів. Для забезпечення рівномірності зміни кожного з критеріїв – мінімаксу схему:

$$\tau^* = \arg \min_{\tau \in \tau_{\tilde{D}}} \max \{C(\tau) = Q(\tau)\} \quad (15)$$

та для забезпечення економічності – інтегральну схему компромісів:

$$\tau^* = \arg \min_{\tau \in \tau_{\tilde{D}}} \{C(\tau) + Q(\tau)\} \quad (16)$$

Відповідно до концептуального принципу раціональної організації [8] зажадаємо їх суворого збігання рішень та розкривши оператори оптимізації (15), (16) із застосуванням (3) отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{c_0 + c_1\tau + c_2\tau^2}{C'} - q_0 + q_1\tau + q_2\tau^2 = 0 \\ \frac{c_1 + 2c_2\tau}{C'} + q_1 + 2q_2\tau = 0 \end{cases} \quad (17)$$

Вирішуючи систему (17) методом Гауса і застосовуючи формули Кардано для розв'язання кубічних рівнянь та того, що значення інтервалу конт-

ролю параметрів знаходиться в області дійсних величин, отримуємо вираз для знаходження шуканого оптимального значення за критеріями вартості експлуатації та оцінки прогнозованої надійності:

$$\tau = \sqrt[3]{\frac{ba-3d}{6} + \sqrt{\left(\frac{a^2-2a^3+3b}{9}\right)^3 + \left(\frac{3d-ba}{2}\right)^2}} + \sqrt[3]{\frac{ba-3d}{6} - \sqrt{\left(\frac{a^2-2a^3+3b}{9}\right)^3 + \left(\frac{3d-ba}{2}\right)^2}} + \frac{a}{3}, \quad (10)$$

$$\text{де } a = \frac{2c_1q_2 + 3c_2q_1}{4c_2q_2};$$

$$b = \frac{c_1q_1 + 2c_2q_0}{2c_2q_2};$$

$$d = \frac{c_0q_1}{2c_2q_2}.$$

Таким чином, поставлене завдання по оптимізації інтервалу контролю параметрів БО АТ вирішене однозначно та повністю без евристичних припущень.

Висновки

Запропонована методика дозволяє визначити оптимальний інтервал контролю параметрів бортового обладнання авіаційної техніки при експлуатації за станом за критеріями вартості експлуатації та прогнозованої оцінки імовірності безвідмовної роботи елементів, що підлягають контролю.

При складанні методики не використовувались евристичні припущення в процесі прийняття рішення. Основу методики складають кількісні оцінки подальшого стану об'єктів і вартості експлуатації.

Отримала подальший розвиток, відповідно до задачі визначення інтервалу контролю параметрів оптимального за критеріями вартості експлуатації та прогнозованої імовірності безвідмовної роботи, процедура векторної оптимізації, що заснована на використанні концепції раціональної організації.

Методика може бути застосована при прогнозуванні інтервалу контролю параметрів об'єктів, експлуатація яких здійснюється за станом в інших галузях.

Список літератури

1. Кудрицкий В.Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание случайных функций / К.Д. Кудрицкий. – К.: ФАДА, ЛТД, 2001. – 176 с.
2. Соловйов В.І. Організація експлуатації авіаційної техніки / В.І. Соловйов. – К.: НАОУ, 2005. – 222 с.
3. Дмитриевский Е.С. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационной надежности авиационного радиоэлектронного оборудования: Учеб. пособие / Е.С. Дмитриевский. – СПб.: СПбГУАП, 2001. 88 с
4. Зелин А. Военная авиация сегодня и завтра [Электронный ресурс] / А. Зелин // Военно-космическое обозрение. – 2003. - № 4 911). – Режим доступа к статье: www.vko.ru.
5. Единый регламент технического обслуживания самолета Ил76 (76М, 76МД).
6. Курочкин А.А. Взаимосвязь тактико-технических и экономических характеристик боевых самолетов / А.А. Курочкин, И.М. Суханов. – Х.: ХВВАИУ, 1984. – 39 с.
7. Гудков М.В. Методика прогнозирования надійності радіоелектронного обладнання при експлуатації авіаційної техніки за станом з контролем параметрів / М.В. Гудков // Системи озброєння і військова техніка. – 2010 – №4(24). – С. 32 – 35.
8. Векторна оптимізація динамічних систем / А.М. Воронін, Ю.К. Зіатдінов, О.І. Козлов, В.С. Чабанюк; за ред. А.М. Вороніна – К.: Техніка, 1999. – 284 с.

Надійшла до редколегії 1.02.2012

Рецензент: канд. техн. наук проф. Ю.І. Миргород, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

М.В. Гудков

Рассматривается одна из методик определения оптимального значения интервала контроля параметров бортового оборудования при эксплуатации авиационной техники по состоянию с контролем параметров. Методика основывается на применении методов векторной (многокритериальной) оптимизации.

Ключевые слова: интервал контроля параметров, техническое состояние, критерии оптимизации, алгоритм прогнозирования, интервал безотказной работы, стоимость эксплуатации, канонические расписания, случайные функции, эксплуатация, за состоянием, авиационная техника.

MODES OF OPERATION OPTIMIZATION TECHNIQUE PARAMETERS ONBOARD EQUIPMENT MILITARY AIRCRAFT

M. V. Gudkov

Considered one of the methods for determining the optimal value of the interval parameters of onboard equipment control the operation of aircraft as the control parameters. The technique is based on the application of the vector (multicriteria) optimization.

Keywords: interval control settings, maintenance, optimization criteria, prediction algorithm, the interval of uptime, operating costs, canonical schedules, random functions, operation of the state, aviation technology.