

Створення такої системи діагностування, на думку авторів, є надзвичайно важливим, оскільки практично половину цивільного авіаційного парку повітряних суден складають літаки з турбогвинтовими двигунами (Ан-24, Ан-26, Ан-30, Ан-32, Ан-12, L 410), а більшість двигунів, що встановлені на даних літаках, відпрацювали призначені та міжремонтні ресурси. Тому для забезпечення високого рівня польотів цивільної авіації вкрай необхідно створити систему діагностування авіаційних турбогвинтових двигунів, яка б дозволила контролювати їхній технічний стан до повного виведення з експлуатації.

#### Список літератури

1. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.
2. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных двигателей. Ч.1. – М.: Машиностроение, 1977. – 311 с.
3. Экспериментально-расчетные высотно-скоростные характеристики турбовинтового двигателя Ан-24. – Запорожье, Б.в., 1961. – 149 с.

Стаття надійшла до редакції 10.09.01.

УДК 656.735(045)

ВБК 052-052.05-6486613+  
052-053-6486613

О.А. Тамаргазін

#### АЛГОРИТМ УМОВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

*Розглянуто методику оптимізації параметрів систем технічного обслуговування і ремонту агрегатів і систем авіаційної техніки на базі граф-моделі системи технічної експлуатації, яка відрізняється простотою і високою вірогідністю результатів і дозволяє оперативно виконувати призначення періодичності технічного обслуговування та контролю-відновлювальних робіт за рахунок мінімізації витрат на технічну експлуатацію.*

При рішенні задачі умовної оптимізації серйозною перешкодою для застосування ітераційного алгоритму оптимізації марковських моделей Р.Ховарда є наявність в ній обмежень. Усунення цього недоліку можна домогтися зведенням задач на умовний екстремум до задач безумовної оптимізації за допомогою методів узагальнених множників Лагранжа [1] і штрафних функцій [2; 3].

Метод узагальнених множників Лагранжа можна застосовувати для умовної оптимізації марковських моделей у вигляді мінімізації:

$$\Phi(\Lambda, X) = g(X) + \sum_m \lambda_m |\min[0, C_m(X)]|,$$

де  $X$  – вектор експлуатаційних характеристик системи технічного обслуговування (ТО) авіаційної техніки.

Проте в ряді випадків великі значення множників  $\lambda_m$  призводять до труднощів під час розрахунків. Для забезпечення опуклості цільової функції в околі розв'язку можна використовувати метод штрафних функцій [4], за допомогою якого задача оптимізації зводиться до задачі максимізації:

$$\Phi(\Lambda, X) = g(X) + \sum_m \lambda_m [C_m(X)]_+^2, \quad (1)$$

$$\text{де } [C_m(X)]_+ = \min[0, C_m(X)] = \begin{cases} C_m(X), & \text{якщо } C_m(X) \leq 0; \\ 0, & \text{якщо } C_m(X) > 0. \end{cases} \quad (2)$$

За допомогою методу штрафних функцій задачу умовної оптимізації зведемо до безумовної і застосуємо алгоритм безумовної оптимізації марковських моделей, перероблений з

урахуванням нового виду цільової функції. При цьому функція Лагранжа (1) перетвориться в еквівалентну їй систему рівнянь по одному на кожний стан марковської моделі:

$$\Phi = q_i + \sum_{j=1}^N a_{ij} V_j + \sum_m \lambda_m [C_m(X)]^2, \quad i = \overline{1, N}. \quad (3)$$

Праві частини системи (3) розглядаються як частинні критерії, що максимізуються незалежно для кожного стану:

$$\Psi_i = q_i + \sum_{j=1}^N a_{ij} V_j + \sum_m \lambda_m [C_m(X)]^2, \quad i = \overline{1, N}. \quad (4)$$

Критерії (4) відрізняються від відповідних критеріїв методу Р.Ховарда наявністю штрафних членів  $\sum_m \lambda_m [C_m(X)]^2$ , а багатомірна задача максимізації функції Лагранжа перетворюється в серію задач максимізації частинних критеріїв (4) малої розмірності.

Розв'язання цієї серії задач виконується за наступним алгоритмом.

*Етап 1. Початкове наближення.* Вхідні дані формуються у вигляді матриць  $A^{(k)}$  інтенсивностей переходів і прибутків  $I^{(k)}$ , за якими визначаються безпосередньо очікувані прибутки  $q_i^{(k)}$ . В кожному стані методом перебору вибирається варіант  $k_{mi}$ , якому відповідає максимальний очікуваний прибуток, і формується початковий вектор-рішення  $f_0$ . Виходячи з цього рішення складаються нові матриці  $A^{(k_{m_0})}$  і  $\|q_i^{(k_{m_0})}\|$ .

*Етап 2. Визначення відносних ваг.* Система рівнянь вирішується відносно  $g$  і  $V_j$ :

$$g = q_i + \sum_{j=1}^N a_{ij}^{(k_{m_i})} V_j; \quad (5)$$

$$V_N = 0.$$

*Етап 3. Політшення рішення.* Здійснюється максимізація частинних критеріїв  $\Psi_i$ :

$$\max_{X_i} : \Psi_i(X); \quad (6)$$

$$X_i \in X.$$

Значення  $V_j$  у виразі для  $\Psi_i$  (4) беруть з розв'язку рішення системи рівнянь (5). Значення  $\lambda_m$ , доцільно прийняти однаковими для всіх  $i$  та такими, що дорівнюють 10...100, крім станів, на імовірності яких не накладені обмеження (в цьому випадку вони приймаються рівними нулю). У кожному стані методом перебору (оскільки частинні критерії  $\Psi_i$  так само, як і  $q_i^{(k)}$ , залежать від малої кількості параметрів вектора  $I$ ) вибирається варіант, якому відповідає максиміальний критерій (6), і формується вектор-рішення:

$$f_1 = \|k_{m_1}^{(1)}, k_{m_2}^{(1)}, \dots, k_{m_N}^{(1)}\|.$$

*Етап 4. Контроль завершення ітерацій.* Якщо хоча б один елемент векторів-рішень  $f_0$  і  $f_1$  не збігається, то необхідно продовжувати процедуру політшення рішення, для чого повертаємося до етапу 2. Інакше розв'язок задачі отримано.

При повільній збіжності процесу доцільно збільшити відповідні множники  $\lambda_m$ , після чого керування передається на 3-й етап алгоритму. Для вибору порядку величин  $\lambda_m$  і наступного їхнього уточнення доцільно використовувати залежність:

$$\lambda_{im} = \frac{|g_i^{\max}(X_i) - g_i^{\min}(X_i)|}{|C_m^{\max}(X_i)|^2 - |C_m^{\min}(X_i)|^2},$$

де  $[C_m^{\max}(X_i)]^2$ ,  $[C_m^{\min}(X_i)]^2$  – відповідно найбільше і найменше значення, прийняті функціями при варіюванні значень компонентів підвектора  $X_i$ .

Довести те, що для розв'язання безумовної задачі оптимізації з цільовою функцією (2)

достатньо, щоб вектор  $X$  мав глобальний максимум функції при фіксованих  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ , можна таким способом.

Нехай вектор  $X^A$  є глобальним максимумом функції (1), тобто при будь-якому  $X^B \neq X^A$

$$g(X^A) + \sum_m \lambda_m [C_m(X^A)]^2 \geq g(X^B) + \sum_m \lambda_m [C_m(X^B)]^2. \quad (7)$$

При цьому  $C_m(X^A) \geq 0$  і  $C_m(X^B) \geq 0$ .

Тоді на підставі функції (2)

$$[C_m(X^A)]_- = [C_m(X^B)]_- = 0$$

і з виразу (7) випливає, що

$$g(X^A) \geq g(X^B),$$

тобто максимізації функції (1) достатньо для розв'язання задачі оптимізації.

Тепер покажемо збіжність запропонованого алгоритму до глобального максимуму. Для цього спочатку покажемо, що ітераційний цикл забезпечує збіжність до деякої границі. Припустимо, є два послідовних рішення  $X^A$  і  $X^B$ , таких, що  $\Psi_i^B \geq \Psi_i^A$  для всіх  $i$ , тобто

$$\Delta\Psi_i = \Psi_i^B - \Psi_i^A \geq 0. \quad (8)$$

Підставивши в нерівність (8) вираз (4), одержимо

$$\Delta\Psi_i = q_i^B + \sum_{j=1}^N a_{ij}^B V_j^A + \sum_m \lambda_m [C_m^B(X)]_-^2 - q_i^A - \sum_{j=1}^N a_{ij}^A V_j^A - \sum_m \lambda_m [C_m^A(X)]_-^2. \quad (9)$$

Використовуючи вираз (3) знайдемо,  $\Delta\Psi$  для рішень  $X^A$  і  $X^B$ :

$$\Delta\Phi = \Phi^B - \Phi^A = q_i^B + \sum_{j=1}^N a_{ij}^B V_j^A + \sum_m \lambda_m [C_m^B(X)]_-^2 - q_i^A - \sum_{j=1}^N a_{ij}^A V_j^A - \sum_m \lambda_m [C_m^A(X)]_-^2.$$

Зважаючи на (9), одержимо

$$\Delta\Phi = \Delta\Psi_i + \sum_{j=1}^N (V_j^B - V_j^A) a_{ij}^B. \quad (10)$$

Вираз (10) має ідентичний вигляд з формулою, яка отримується при доведенні збіжності алгоритму безумовної оптимізації. Отже, подальше доведення аналогічне наведеному в роботі [5].

Показавши, що  $\Delta\Phi > 0$ , можна зробити висновок, що з неспадання частинних критеріїв  $\Psi_i$  (4) випливає неспадання функції Лагранжа (3).

Доведення того, що ця границя є глобальним максимумом, аналогічним наведеному в роботі [5] для алгоритму безумовної оптимізації марковських моделей. Цим завершується обґрунтування алгоритму умовної оптимізації марковських моделей.

Для зведення задач умовної оптимізації до безумовної можна використовувати метод модифікованих функцій Лагранжа [6] і розв'язувати задачі для умовної оптимізації марковських моделей. Проте наявність у модифікованій функції Лагранжа параметра зсуву  $\theta$  хоча і призводить до зменшення величини множників  $\lambda_m$ , але ускладнює алгоритм і його машинну реалізацію.

Розроблений алгоритм умовної оптимізації марковських моделей систем ТО має недолік: вибір оптимальних параметрів системи ТО можливий в тому випадку, якщо в моделях систем ТО немає інтенсивностей переходів, які обчислюються через ті ж самі параметри. Для його усунення такі параметри оптимізувалися тільки в складі одного (кожного) підвектора  $X_i$ , а інші підвектори оптимізації не піддавалися. Проте такий підхід трохи спотворює результати оптимізації.

Аналіз типових моделей систем ТО показує, що поява залежних інтенсивностей пов'язана з наявністю в моделях станів прихованих відмов і пошкоджень. Так, в моделі, граф станів якої наведені на рис.1, інтенсивності  $a_{12}$  і  $a_{42}$  залежать від одного і того ж параметра системи ТО – періодичності проведення ТО. При цьому для одержання максимальних прибутків

від експлуатації авіаційної техніки або необхідного значення імовірності перебування авіаційної техніки в працездатному стані при максимальних прибутках необхідно, з одного боку, збільшувати періодичність проведення ТО (зменшуються витрати на проведення ТО і втрати від планових знижень готовності авіаційної техніки на ТО), а з іншого боку – зменшувати її (зменшуються втрати від непрацездатності через перебування авіаційної техніки в стані прихованих відмов).

З цього випливає, що закріплення оптимізованого параметра – періодичності проведення ТО – як власної змінної тільки за однією з інтенсивностей –  $a_{12}$  або  $a_{42}$  – призведе до одержання рішення, відмінного від оптимального.

Для виключення цього недоліку застосуємо еквівалентне перетворення марковських моделей. З графа станів зазначеної моделі виключаються всі, крім одного, переходи, що описуються залежними інтенсивностями стану, з яких виходять ці інтенсивності, а також переходи, пов'язані з цими станами. Для збереження фізичного змісту моделі необхідно, щоб прибутки, одержані при здійсненні виключених переходів і перебування у виключених станах, були враховані в інших переходах або станах моделі.

Розглянемо застосування процедури еквівалентного перетворення на моделі системи ТО (рис.1). В ній залежними є інтенсивності переходів  $a_{12}$  і  $a_{42}$ .

Насамперед необхідно виключити один з переходів, який описується залежними інтенсивностями: 1 – 2 або 4 – 2. Виключимо перехід 4 – 2. Далі необхідно виключити стан  $A_4$ , з якого виходить інтенсивність  $a_{42}$ . І останнє: виключимо перехід 1 – 4, пов'язаний зі станом  $A_4$ .

Таким чином ми одержимо перетворений граф станів (рис. 2), який вже не містить залежних інтенсивностей переходів. При цьому в стан  $A_1^*$  вкладається вже інший зміст: тепер він буде відповідати працездатному стану як фактично, так і уявно через можливі приховані відмови. Отже, для рішення задачі безумовної або умовної оптимізації можна застосувати розроблені алгоритми. Проте необхідно ще врахувати в інших переходах і станах прибутки, принесені у виключених переходах і станах.

Припустимо, що переходи 1 – 4 і 4 – 2 ніяких прибутків не приносили. В стані  $A_4$  ми мали втрати від непрацездатності через перебування системи в стані прихованої відмови. Ці втрати враховуються в стані  $A_1^*$ , в результаті чого прибуток, принесений системою в одиницю часу в стані  $A_1$ , зменшиться:

$$d_{11} = \frac{C_0}{T_r} - \frac{C_0 P_4}{T_r}$$

Для знаходження імовірності  $P_4$  можна використати два шляхи: розв'язати спочатку за вхідними даними систему алгебричних рівнянь для визначення необхідної  $P_4$  (водночас визначити множину вихідних даних, які забезпечують виконання обмежень в задачі оптимізації) і застосувати алгоритм безумовної оптимізації або використати вираз для визначення  $P_4$ . Другий шлях обчислення імовірності  $P_4$  більш економічний, тому

$$P_4 = \frac{\mu_4}{l_{44}}$$

де  $\mu_4$  – математичне сподівання терміну перебування в стані  $A_4$ ;  $l_{44}$  – середній інтервал між переходами у стан  $A_4$ .

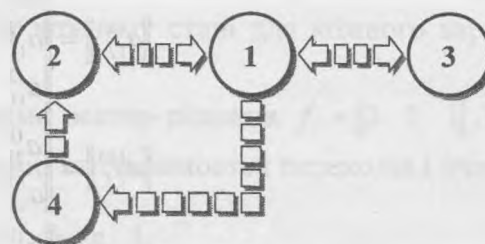


Рис.1. Граф переходів агрегатів з елементарною системою ТО:  
1 – стан готовності до застосування; 2 – виявлення відмов під час чергового ТО; 3 – непрацездатний стан; 4 – стан прихованої відмови

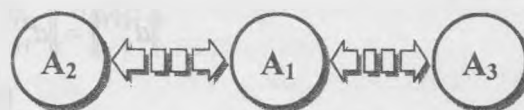


Рис. 2. Перетворений граф станів

Зважаючи на те, що випадковий характер появи відмов елементів системи, які контролюються під час ТО, важливий лише на інтервалі  $(0, \tau_{\text{мрг}})$ , а  $\mu_4$  можна розглядати як різницю між  $\tau_{\text{мрг}}$  і середнім терміном працездатного стану елементів, які контролюються в процесі ТО, за умови, що відмови сталися в міжрегламентний період, одержимо

$$\mu_4 = \frac{\tau_{\text{мрг}}}{1 - e^{-\omega_{\text{рг}} \tau_{\text{мрг}}}} - \frac{1}{\omega_{\text{рг}}},$$

звідси

$$P_4 = \frac{1}{1 - e^{-\omega_{\text{рг}} \tau_{\text{мрг}}}} - \frac{1}{\omega_{\text{рг}} \tau_{\text{мрг}}}.$$

Нехай в нашому розпорядженні є варіанти значень експлуатаційних характеристик (табл.1), які забезпечують виконання необхідного значення імовірності  $P_1$  перебування системи в стані готовності до роботи.

Для перетвореного графа станів матриці інтенсивностей переходів будуть мати вигляд:

$$\|a_{1j}^{(k)}\| = \begin{vmatrix} a_{11}^{(1)} & a_{12}^{(1)} & a_{13}^{(1)} \\ a_{11}^{(2)} & a_{12}^{(2)} & a_{13}^{(2)} \\ a_{11}^{(3)} & a_{12}^{(3)} & a_{13}^{(3)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1,55 & 0,67 & 0,88 \\ -1,21 & 0,33 & 0,88 \\ -1,05 & 0,17 & 0,88 \end{vmatrix};$$

$$\|a_{2j}^{(k)}\| = \begin{vmatrix} a_{21}^{(1)} & a_{22}^{(1)} \\ a_{21}^{(2)} & a_{22}^{(2)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 12,3 & -12,0 \\ 3,7 & -3,7 \end{vmatrix};$$

$$\|a_{3j}^{(k)}\| = \begin{vmatrix} a_{31}^{(1)} & a_{32}^{(1)} & a_{33}^{(1)} \\ a_{31}^{(2)} & a_{32}^{(2)} & a_{33}^{(2)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 292,0 & 0,0 & -292,0 \\ 87,6 & 0,0 & -87,6 \end{vmatrix},$$

де  $a_{12} = \tau_{\text{мрг}}^{-1}$ ;  $a_{13} = \omega_{\text{непр}}$ ;  $a_{21} = \tau_{\text{рг}}^{-1}$ ;  $a_{31} = \tau_{\text{ус}}^{-1}$ .

Матриці прибутків  $\|d_{ij}^{(k)}\|$  для кожного варіанта визначаються за формулами, які мають вигляд

$$\|d_{ij}^{(k)}\| = \|d_{11}^{(1)}, d_{11}^{(2)}, d_{11}^{(3)}\| = \|49,86 \quad 49,83 \quad 49,58\|;$$

$$d_{22} = d_{33} = -100.$$

Матриці інтенсивностей переходів, прибутків і значення безпосередньо очікуваних прибутків зведемо в табл.2.

Для кожного стану вибираємо варіант  $k_{mi}$ , якому відповідає максимальний очікуваний прибуток (у випадку їхньої рівності вибирається кожний), і результати записуємо як вектор-

Таблиця 1

Варіанти значень експлуатаційних характеристик

Параметр	Варіанти значень		
	1,5	3,0	6,0
$\tau_{\text{мрг}}$ , р.			
$\tau_{\text{рг}}$ , доба	30	100	
$\tau_{\text{ус}}^{-1}$ , год	30	100	
$\omega_{\text{рг}}$ , Г <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup>		
$\omega_{\text{непр}}$ , Г <sup>-1</sup>	10 <sup>4</sup>		
$T_1$ , р.	10		
$C_0$ , ум.од	100		

Таблиця 2

Значення інтенсивності і прибутків

Стан <i>i</i>	Варіант <i>k</i>	Інтенсивність $a_{ij}$			Прибуток $d_{ij}$	Безпосередньо очікуваний прибуток
1	1	-1,55	0,67	0,88	49,86	49,86
	2	-1,21	0,33	0,88	49,83	49,83
	3	-1,05	0,17	0,88	49,58	49,59
2	1	12,0		-12,0	-100	-100
	2	3,7		-3,7	-100	-100
3	1	292,0	0	-292,0	-100	-100
	2	87,6	0	-87,6	-100	-100



рішення  $f_0 = \|1 \ 2 \ 2\|$ . Складаємо нову матрицю переходів  $A_1^{(k)}$  і очікуваних прибутків  $q_i^{(k)}$  для першої ітерації:

$$A_1^{(k)} = \begin{vmatrix} -1,57 & 0,67 & 0,90 \\ 3,70 & -3,70 & 0,00 \\ 87,60 & 0,00 & -87,60 \end{vmatrix};$$

$$q_1^{(k)} = \|49,87 \ -100 \ -100\|.$$

Переходячи до процедури визначення відносних ваг, запишемо систему рівнянь:

$$g = 49,87 - 1,55\theta_1 + 0,67\theta_2 + 0,90\theta_3;$$

$$g = -100 + 3,70\theta_1 - 3,70\theta_2;$$

$$g = -100 + 87,60\theta_1 - 87,60\theta_3.$$

Прийнявши  $\theta_3 = 0$ , знайдемо значення інших невідомих методом підстановки:  $\theta_1 = 0,01g + 1,14$ ,  $\theta_2 = -25,86 - 0,26g$ ,  $g = 30,77 - 0,19g$ . Звідси  $g = 25,84$ ;  $\theta_1 = 1,43$ ;  $\theta_2 = -25,49$ .

Після цього знайдемо значення критерію  $q_{ii}^{(k)}$  у кожному стані для кожного варіанта (табл.3).

В результаті проведеної першої ітерації одержимо вектор-рішення  $f_1 = \|3 \ 1 \ 1\|$ . Тому що  $f_1 \neq f_2$ , продовжуємо ітерації. Складаємо нові матриці інтенсивностей переходів і очікуваних прибутків для другої ітерації:

$$A_2^{(k)} = \begin{vmatrix} -1,05 & 0,17 & 0,88 \\ 12,00 & -12,00 & 0,00 \\ 292,00 & 0,00 & -292,00 \end{vmatrix};$$

$$q_2^{(k)} = \|49,58 \ -100 \ -100\|.$$

Запишемо систему рівнянь для визначення відносних ваг

$$g = 49,58 - 1,05\theta_1 + 0,17\theta_2 + 0,88\theta_3;$$

$$g = -100 + 12\theta_1 - 12\theta_2;$$

$$g = -100 + 292\theta_1 - 292\theta_3.$$

Прийнявши  $\theta_3 = 0$ , знаходимо  $g = 47,08$ ;  $\theta_1 = 0,5$ ;  $\theta_2 = -11,76$ .

Виконуючи процедуру поліпшення рішення, одержимо значення критерію  $q_{ii}^{(k)}$  для кожного варіанта (табл.4). На основі даних таблиці записуємо новий вектор-рішення  $f_2 = \|3 \ 1 \ 1\|$ .

Вектор-рішення  $f_1$  і  $f_2$  збіглися, ітерації зійшлися, тобто знайдено оптимальний варіант параметрів системи ТО:  $\tau_{\text{мрг}}^{(3)} = 6$  р.;  $\tau_{\text{рр}}^{(1)} = 30$  діб;  $\tau_{\text{уф}}^{\text{непр}^{(1)}} = 30$  год.

Таблиця 3

Значення критерію поліпшення рішення при першій ітерації

Стан $i$	Варіант $k$	$q_{ii}^{(k)}$
1	1	30,57
	2	39,71
	3	43,75
2	1	88,72
	2	10,98
3	1	317,56
	2	25,27

Таблиця 4

Значення критерію поліпшення рішення при другій ітерації

Стан $i$	Варіант $k$	$q_{ii}^{(k)}$
1	1	41,21
	2	45,35
	3	47,06
2	1	47,12
	2	-54,64
3	1	46,00
	2	-56,20

Оптимальний варіант був знайдений після двох порівняно простих ітерацій замість розрахунку 12 варіантів при повному переборі. При рішенні більш складних задач економія значно більша, але при цьому потрібно застосування ЕОМ.

### Список літератури

1. Кесаев Х.В., Трофимов Р.С. Надежность двигателей летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1982. – 136 с.
2. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
3. Каннингхем К., Кокс В. Методы обеспечения ремонтпригодности: Пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1978. – 312 с.
4. Калинин К.К., Гаганов Г.Г. Об оценке устойчивости ЦВМ к сбоям. – М.: Сов. радио, 1968. – 132 с.
5. Тамаргазін О.А. Безумовна оптимізація параметрів системи технічного обслуговування транспортних засобів //Вестн. ХГАДТУ.–Вып. 14. – Харьков:ХГАДТУ, 2001. – С. 76–78.
6. Барзилович Е.Ю., Капитанов В.А. Некоторые математические вопросы теории массового обслуживания сложных систем. – М.: Сов. радио, 1971. – 272 с.

Стаття надійшла до редакції 03.09.01.

УДК 629.735.083(045)

ББК 052-082.036642.31 +

052.124.131.082.036642.31

Аль-Навафах Али

### ОЦЕНКА ВОЗРАСТАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ДАННЫМ

*Рассмотрена методика построения аппроксимации изменения интенсивности отказов изделий авиационной техники по эксплуатационным данным с целью определения ресурса конкретного типа изделия и стратегии его технического обслуживания.*

Для назначения агрегату правильного режима обслуживания необходимо оценить интенсивность  $\lambda(t)$  и параметр потока  $\omega(t)$  отказов, характеризующих влияние наработки на надежность авиационной техники.

При решении практических задач формирования программы технического обслуживания важно знать, возрастает ли интенсивность отказов с увеличением наработки агрегата, начиная с какой наработки эффект возрастания интенсивности отказов становится значимым, какова скорость возрастания интенсивности. Поскольку не обязательно точно знать вид функции  $\lambda(t)$ , задачу можно решить аппроксимацией реального изменения  $\lambda(t)$  упрощенной моделью [1]. Так как все агрегаты проходят начальную приработку на заводе-изготовителе, то учет уменьшения интенсивности отказов на начальном участке эксплуатации в модели  $\lambda(t)$  не требуется. Предлагаемая модель  $\lambda(t)$  описывается тремя параметрами: начальным уровнем интенсивности отказов  $\lambda_0$ , значением наработки, после которой начинается рост интенсивности отказов  $b$ , и темпом нарастания интенсивности отказов  $\lambda_1$ , определяющим, насколько интенсивность отказов в конце ресурса больше начальной:

$$K = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_0} = 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} (T_p - b),$$

где  $K$  – уровень возрастания потока отказов;  $T_p$  – межремонтный ресурс.

Полагая, что эти параметры известны, получим:

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_0 & \text{при } t \leq b; \\ \lambda_0 + \lambda_1 b & \text{при } t > b; \end{cases} \quad (1)$$

$$f(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} = \begin{cases} \lambda_0 e^{-\lambda_0 t} & \text{при } t \leq b; \\ [\lambda_0 + \lambda_1(t-b)] e^{-\frac{(\lambda_0 - \lambda_1 b)t}{2(t^2 + b^2)}} & \text{при } t > b; \end{cases} \quad (2)$$