

УДК 629.735.083.02/.03:620.179.1(045)

О.А. Тамаргазін

МЕТОДИКА ПРИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИРОБІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

З позицій вартості технічного обслуговування авіаційної техніки розглянуто методику призначення періодичності профілактичних робіт і робіт з контролю передвідмовних станів комплектуючих виробів повітряних кораблів.

Призначити періодичність робіт можна як з урахуванням заданої структури технічного обслуговування (ТО), так і оптимізації її в процесі формування плану ТО [1,2,3]. В обох випадках методика має такі етапи:

- визначення оптимальної періодичності виконання кожної з робіт, які входять до переліку планових робіт з ТО системи;
- згрупування робіт у форми на основі прийнятого варіанта структури ТО;
- визначення раціональної періодичності виконання кожної з форм ТО.

У загальному випадку при встановленні періодичності ТО розглядаються чотири основні групи робіт: з контролю технічного стану (ТС) елементів системи; профілактичні; зарядно-заправні; допоміжні. Періодичність виконання робіт із забезпечення доступу однозначно визначається періодичністю виконання робіт перших трьох груп.

Періодичність виконання зарядно-заправних робіт визначається призначенням і схемою застосування літака, а також параметрами і конструкційними особливостями його систем.

На жаль, формалізовано призначити періодичність профілактичних робіт не можна, оскільки дані щодо залежності показників надійності більшості елементів систем від цієї величини відсутні. Проте досвід експлуатації дозволяє з прийнятною точністю при формуванні планів ТО встановлювати періодичність виконання профілактичних робіт і потім коректувати її в міру накопичення досвіду з експлуатації літака даного типу.

Як критерій оптимізації періодичності ТО системи прийняті питомі вартісні витрати на обслуговування при виконанні вимог до безвідмовності систем, обумовлених заданими вимогами до безпеки та регулярності польотів, і ймовірності виконання завдання (нормативних ймовірностей можливих видів відмов системи Q_{α}^H):

$$\begin{aligned} \bar{C} &\rightarrow \min ; \\ Q_{\alpha} &\leq Q_{\alpha}^H . \end{aligned} \quad (1)$$

Вхідними даними для виконання оптимізації є:

- результати аналізу безвідмовності системи і наслідків можливих видів її відмов (перелік функціональних відмов з оцінкою їхнього впливу на безпеку і регулярність

польотів), а також виконання завдання і перелік видів відмов елементів та їхньої інтенсивності;

- тривалість типового польоту, номенклатура і періодичність форм ТО.

Періодичність контролю ТС визначається:

- функціями безвідмовності, які є залежностями ймовірностей видів відмов системи Q_α^0 від ймовірностей видів відмов її елементів q_β на одну годину польоту або за політ, встановленими за припущення справності системи перед вильотом;

- нормативними ймовірностями Q_α^H можливих видів відмов системи, встановленими шляхом розподілу вимог з безвідмовності системи в цілому між можливими видами її відмов;

- трудомісткістю (яка очікується або планується) планових робіт з контролю ТС.

Для визначення оптимальної періодичності τ_β контролю працездатності елементів системи (вияву β -х видів відмов) використовують відкоректовані функції безвідмовності, які відрізняються від функцій безвідмовності виду (1) коефіцієнтами корекції $k_l = f(\tau_\beta, m_\beta)$, що враховують зміну ймовірності відмови системи виду α при переході від контролю і відновлення елементів функціональної системи (ФС) перед польотом до контролю і відновлення з періодичністю τ_β :

$$Q_\alpha = \sum_{l=1}^{l=L_\alpha} k_l \prod_{\beta=1}^{\beta=B} q_\beta^{\alpha_l},$$

де Q_α – ймовірність відмови ФС виду α ($\alpha = 1, N_\alpha$) при виконанні контрольно-відновних робіт із заданою періодичністю; q_β – ймовірність відмови елемента ФС виду β ($\beta = 1, N_\beta$), яка визначається за умови справності елемента перед вильотом; N_β – загальна кількість видів відмов елементів; $l = \overline{1, L_\alpha}$ – поточний номер об'єднання видів відмов елементів, які призводять до відмови систему виду α ; L_α – загальна кількість таких комбінацій відмов; α_l – кількість видів відмов елементів у l -му стані.

Для явних відмов, які проявляються у польоті, приймається $\tau_\beta = \tau_\alpha$ і $N_\beta = 1$. Проте при визначенні коефіцієнтів корегування k_l для комбінації більше, ніж двох відмов, за умови застосування формул для k_l при зростанні коефіцієнта N_β зі збільшенням його номера в формулах виникає необхідність встановлення співвідношення значень τ_β для відмов, які входять в кожне із сполучень, що розглядаються, з неявними відмовами.

У випадку, якщо $m_\beta > 2$, необхідно зробити попереднє ранжирування значень τ_β для того, щоб встановити послідовність виконання робіт з контролю з урахуванням трудомісткості T_β виявлення β -х відмов елементів і ймовірності q_β їхнього виникнення, а також з урахуванням впливу відмов елементів на ймовірність виникнення відмов системи.

Правило ранжирування полягає у встановленні більшої періодичності для тієї роботи, якій відповідає більший ранг R_β :

$$R_\beta = m_\beta \lg \left(\frac{T_\beta}{q_\beta} \right);$$

$$R_\beta \leq R_{\beta+k}, k = \overline{1, (N_\beta - 1)}; \quad (2)$$

$$\tau_{\beta} \leq \tau_{\beta+k}.$$

Відповідно до результатів ранжирування і на підставі функції безвідмовності (1) встановлюють залежності ймовірностей функціональних відмов систем від періодичностей τ_{β} :

$$Q_{\alpha} = f(q_{\beta}, \tau_{\beta}). \quad (3)$$

Застосувавши до формули (3) обмеження $Q_{\alpha} \leq Q_{\alpha}^H$, отримують функції обмежень в задачі (1) мінімізації вартості ТО:

$$f(q_{\beta}, \tau_{\beta}) - Q_{\alpha}^H \leq 0. \quad (4)$$

Вибір оптимальної періодичності забезпечується мінімізацією питомих витрат на ТО, які представляються у вигляді:

$$\bar{C} = \sum_{\beta=1}^{N_{\beta}} f_T \frac{T_{\beta}}{\tau_{\beta}}, \quad (5)$$

де f_T – середня тарифна ставка виконавця робіт з ТО за годину.

Для визначення оптимальної періодичності з формули (1) за допомогою мінімізації \bar{C} при додержанні обмежень (4) формується функція Лагранжа виду

$$L(\tau_{\beta}, U_{\alpha}) = \bar{C}(\tau_{\beta}) + \sum_{\alpha=1}^{N_{\alpha}} U_{\alpha} [f(q_{\beta}, \tau_{\beta}) - Q_{\alpha}^H], \quad (6)$$

де U_{α} – позитивний невизначений множник.

Після цього складається система рівнянь, які є при виконанні умови (2) необхідними і достатніми умовами існування седловини функції (6):

$$\frac{\partial L}{\partial \tau_{\beta}} = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial U_{\alpha}} \leq 0. \quad (7)$$

Розв'язання системи (7) дозволяє визначити оптимальні значення τ_{β}^* , які відповідають седловій точці функції Лагранжа. Знайдені значення $\tau_1^*, \dots, \tau_{\beta}^*, \dots$ обернуть у мінімум вираз (5) при виконанні умов

$$Q_{\alpha} = f(\tau_{\beta}^*) \leq Q_{\alpha}^H. \quad (8)$$

Система (7) в загальному випадку є системою трансцендентних рівнянь і її розв'язання можна одержати за допомогою ітераційних методів. Проте на практиці ця система часто зводиться до досить простої системи нелінійних рівнянь.

Для спрощення формування і розв'язання системи (7) можна встановити обмеження (8), неактивні в точках τ_{β}^* , тобто такі, для яких зарані справедливе це нерівняння, і вилучити їх з розгляду. Крім того, при формуванні функції Лагранжа доцільно максимально спростити формулу для коректованих функцій безвідмовності (3) відповідно до чутливості Q_{α} до складових цих функцій, які вмщують у себе значення τ_{β} в різних ступенях.

Для вибору оптимальної періодичності контролю передвідмовних станів елементів ФС з використанням нормативних значень параметрів, які визначають ТС елемента та їхніх

випереджувальних допусків, а також у залежності значень параметрів від напрацювання елементів можна встановити залежність виду (4), де замість τ_{β} для відповідних видів відмов елемента будуть виступати перемінні $\tau_{\text{пр}\beta}$ (періодичність контролю передвідмовного стану елемента з β -го виду відмови). Визначення оптимальних значень $\tau_{\text{пр}\beta}^*$ в цьому випадку виконують згідно з формулами (6) і (7).

Проте зараз залежності, які характеризують зміну ТС елемента із зростанням напрацювання, відомі тільки для дуже обмеженої кількості агрегатів і блоків обладнання літака, тому визначення оптимальних значень $\tau_{\text{пр}\beta}^*$ вказаним вище методом є проблематичним. Для визначення раціональних значень $\tau_{\text{пр}\beta}^*$ з умови забезпечення заданого рівня безвідмовності можна бути використати таке наближення:

$$\tau_{\text{пр}\beta} = 2T_{\text{пр}\beta} (T_{0\beta} - T_{\text{пр}\beta}) \frac{q_{\beta}^H}{\tau_{\Pi}}, \quad (9)$$

де $T_{\text{пр}\beta}$ – середнє напрацювання до передвідмовного стану; $T_{0\beta}$ – середнє напрацювання до β -го виду відмови елемента за умови, що його передвідмовний стан не контролюється; q_{β}^H – нормальна ймовірність відмови елемента за політ.

На основі формули (9) можна одержати наближену залежність періодичності контролю ТС елементів, які експлуатуються до передвідмовного стану, від відносного випереджувального допуску

$$\overline{\Delta\eta} = \frac{\Delta\eta}{\eta_0},$$

де $\Delta\eta$ – випереджувальний допуск; η_0 – значення контрольованого параметра, яке відповідає відмові елемента. Вважаючи залежність $\eta = f(\tau)$ лінійною,

$$T_{\text{пр}\beta} (T_{0\beta} - T_{\text{пр}\beta}) = (\eta_0 - \Delta\eta) \frac{\Delta\eta}{k^2} = \eta_0^2 (1 - \overline{\Delta\eta}) \frac{\Delta\eta}{k^2}.$$

Оскільки $\eta_0/k = T_{0\beta}$, формулу (9) можна записати так:

$$\tau_{\text{пр}\beta} = 2q_{\beta}^H T_{0\beta}^2 (1 - \overline{\Delta\eta}) \frac{\Delta\eta}{\tau_{\Pi}},$$

або, вважаючи, що $\overline{\Delta\eta} \ll 1$:

$$\tau_{\text{пр}\beta} \approx 2q_{\beta}^H T_{0\beta}^2 \frac{\Delta\eta}{\tau_{\Pi}}. \quad (10)$$

Формулу (10) можна використовувати для попередньої оцінки мінімального випереджувального допуску при заданій структурі ТО і ремонту.

Після визначення оптимальних значень τ_{β}^* та встановлення періодичності виконання профілактичних робіт і робіт з контролю передвідмовних станів робиться згрупування робіт

за формами ТО. При цьому треба керуватися результатами інженерного аналізу логічних взаємозв'язків у виконанні робіт різних груп.

У самому загальному випадку послідовність визначення раціональної періодичності виконання форм ТО має такий вигляд:

- коректування функціональних залежностей (4) з урахуванням того, що періодичність τ_B робіт, згрупованих в одну m -у форму ТО, буде однаковою ($m = \overline{1, N_m}$, де N_m – загальна кількість різних форм ТО);
- знаходження оптимальних значень τ_m^* , що відповідають седловим точкам функції (6), в якій \bar{C} і функції обмежень взяті з урахуванням усіх видів робіт та коректування їхньої періодичності.

Проте необхідність двічі розв'язувати систему рівнянь (7) на практиці виникає дуже рідко, частіше можна обмежитись результатами її інженерного аналізу.

У випадку, коли базова структура ТО задана, раціональні значення τ_m доцільно визначати цілеспрямованим перебором варіантів. Для цього позначимо: φ_m – максимальне значення періодичності, яке залежить від базової сукупності і не перевищує значення τ_m^* ; μ_m – мінімальне значення періодичності, яке належить базовій сукупності і яке не менше значення τ_m^* . Пошук раціональних значень τ_m виконують послідовним присвоєнням періодичностям τ_m^* значень τ_j базової сукупності так, як це показано в таблиці. В (N_m+2) -й графі таблиці зазначені питомі витрати \bar{C} на ТО і ремонт, які визначаються для відповідного варіанта з формули

$$\bar{C} = \bar{C}_{\text{кп}} + \bar{C}_{\text{зам}} + \bar{C}_{\text{обм}},$$

де $\bar{C}_{\text{кп}}$ – питомі витрати на ТО з урахуванням витрат на планові роботи з контролю працездатності елементів ФС; $\bar{C}_{\text{зам}}$ – питомі витрати на роботи, зв'язані із замінами елементів, що відмовили; $\bar{C}_{\text{обм}}$ – питомі витрати на створення обмінного фонду виробів, необхідних для заміни тих, що відмовили і направлених у ремонт або списаних.

В (N_m+3) -й графі таблиці вказані значення

$$\Delta Q = \min \{ Q_1^H - Q_1, \dots, Q_{N_\alpha}^H - Q_{N_\alpha} \},$$

де Q_1, \dots, Q_{N_α} розглядаються з використанням залежностей $Q_\alpha = \varphi(\tau_1, \dots, \tau_{N_\alpha})$, одержаних на основі формули (3).

Оскільки $\varphi_m \leq \tau_m^* \leq \mu_m$, то для першого варіанта в таблиці ΔQ завжди позитивне. Ті варіанти, для яких $\Delta Q < 0$, вилучаються з подальшого розгляду. Якщо є декілька варіантів, для яких $\Delta Q > 0$, то з них для подальшого розгляду вибирають варіант, у якому витрати найменші.

Інваріантність періодичностей форм ТО

Номер варіанта	Періодичність форм ТО						\bar{C}	ΔQ
	τ_1	τ_2	τ_3	...	τ_{N_m-1}	τ_{N_m}		
1	φ_1	φ_2	φ_3	...	φ_{N_m-1}	φ_{N_m}	\bar{C}_1	ΔQ_1
2	μ_1	φ_2	φ_3	...	φ_{N_m-1}	φ_{N_m}	\bar{C}_2	ΔQ_2
3	φ_1	μ_2	φ_3	...	φ_{N_m-1}	φ_{N_m}	\bar{C}_3	ΔQ_3
...
N_m	φ_1	φ_2	φ_3	...	μ_{N_m-1}	φ_{N_m}	\bar{C}_{N_m}	ΔQ_{N_m}
N_m+1	φ_1	φ_2	φ_3	...	φ_{N_m-1}	μ_{N_m}	\bar{C}_{N_m+1}	ΔQ_{N_m+1}

Таким чином, в результаті аналізу таблиці на першому етапі визначають хоч би одну раціональну періодичність τ_m . Зокрема, може статися, що для всіх варіантів, крім першого, $\Delta Q < 0$. Це буде означати, що в даному випадку $\tau_m = \varphi_m$ – поставлене завдання виконане. На другому етапі розглядають можливі варіанти, складені на базі другого варіанта, який в таблиці вказаний першим. Аналіз нового етапу роблять так же, як і аналіз попереднього.

У випадку, коли базова сукупність періодичностей не задана, раціональну періодичність виконання форм вибирають порівнянням витрат на ТО, що відповідають різним варіантам структури ТО, виходячи з особливостей застосування і базування літака. При цьому формують згрупування робіт з ТО для кожного варіанта структури. Кожний з варіантів розглядають за чергою як базовий і формують можливі варіанти згрупування робіт. Для кожного з варіантів визначають раціональну періодичність виконання робіт з ТО і розраховують відповідні цьому варіанту витрати. Раціональний варіант структури ТО визначають порівнянням відповідних витрат.

Список літератури

1. Комаров А.А. Надежность воздушных судов: Учеб. пособие. – К.: КМУГА, 1995. – 416 с.
2. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 605 с.
3. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
4. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
5. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. – М.: Финансы и статистика, 1986–1987. – Кн. 1. – 366 с.; Кн. 2. – 351 с.

Стаття надійшла до редакції 11 листопада 1999 року.