

УДК 629.735.083 (045)

МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

О. П. Ліннік, канд. фіз.-мат. наук, доц.

Національний авіаційний університет

avia_icao@mail.ru

Розглянуто основні питання удосконалення методології відпрацювання програм технічного обслуговування повітряних суден в процесі експлуатації та обґрунтовано принципи побудови математичної моделі керування програмою технічного обслуговування транспортних літаків на основі теоретичних узагальнень, пов'язаних з дослідженням виробничих процесів під час технічної експлуатації авіаційної техніки.

Ключові слова: повітряне судно, експлуатація, технічне обслуговування.

The article deals with basic questions of improving the methodology of aircraft maintenance program development in operation and the principles of mathematical model of control of transport aircraft maintenance program were proved. These principles are based on theoretical generalizations related to the study of manufacturing processes in the aircraft maintenance.

Keyword: aircraft, operation, maintenance.

Постановка задачі

У процесі відпрацювання програми технічного обслуговування (ТО) за результатами експлуатації необхідно провести оцінювання параметрів програми ТО, перевірити їхню відповідність вимогам і забезпеченню заданих показників надійності повітряних суден (ПС). У випадку невиконання вимог приймаються рішення або з конструктивного вдосконалення ПС, або з вдосконалення організації і технології проведення різних видів ТО, або з коригування програми ТО з подальшою перевіркою оптимальності цих параметрів.

Метою програми ТО ПС, згідно з розглянутими вище задачами, є забезпечення максимального часу перебування літака у готовності до польотів при безперечному задовільненні вимог до безпеки і регулярності польотів з мінімальними витратами на ТО. Тому оптимальність програми ТО може бути оцінена розв'язанням однієї з двох задач: забезпечення необхідного значення складової узагальненого показника надійності — імовірності знаходження в стані готовності до застосування за призначенням P_r при максимальних прибутках g в експлуатації, або забезпечення необхідних прибутків g при максимальному значенні P_r . Постановку цих задач можуть бути записані таким чином:

$$\begin{aligned} \max : g \text{ } \mathcal{X} ; P_r \text{ } \mathcal{X} \geq P_r^H ; \\ \forall x \in G ; \forall P_r^H \in [0,1] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \max : P_r \text{ } \mathcal{X} ; g \text{ } \mathcal{X} \geq C^H ; \\ \forall x \in G ; \forall C^H \in [0, \infty], \end{aligned} \quad (2)$$

де X — вектор параметрів програми ТО; G — множина допустимих значень параметрів x ; P_r^H — необхідне значення показника готовності ПС; C^H — задані обмеження на витрати.

Якщо розглядати задачі (1) і (2) як параметричні, то множина розв'язків (1) еквівалентна множині розв'язків (2), тобто можна розв'язати лише одну з цих задач.

У непараметричному ж випадку (обмеження фіксовані), виходячи з необхідного рівня показника готовності, треба знайти економічніший спосіб його забезпечення, тому що при недостатньо обґрунтованих обмеженнях на витрати можна одержати максимальне значення показника готовності, яке не задовольняє необхідному. Отже, готовність як більш важливий показник треба розглядати як обмеження, а витрати як менш важливий — як цільову функцію. Тому надалі розглядатимемо задачу типу (1).

Розв'язання задачі

Задача умовної оптимізації (1) може бути розв'язана як задача безумовної оптимізації виду:

$$\max : g \text{ } \mathcal{X} ; \forall x \in G^*, \quad (3)$$

де G^* — множина значень параметрів x , які забезпечують необхідний рівень P_r^H .

Аналіз можливих станів ПС у процесі експлуатації показує, що можна виділити з них характерні множини: E^+ — множина сприятливих станів, імовірності яких бажано мати як можна більшими; E^- — множина несприятливих станів, імовірності яких бажано мати як можна меншими. Тоді задачу (1) можна навести в різних варіантах, які залежать від обмежень. Так, наприклад, можна зажадати виконання обмежень імо-

вірностей перебування в окремих станах, які входять у множини E^+ і E^- :

$$\begin{aligned} \max : g \leftarrow ; P_i X \geq P_i^i, i \in E^+ ; \\ P_i \leftarrow \geq P_i^H, i \in E^- ; x \in G_{E^+}, \end{aligned} \quad (4)$$

так і на суми сприятливих і несприятливих станів:

$$\begin{aligned} \max : g \leftarrow ; \sum_{i \in E^+} P_i \leftarrow \geq P_{E^+}^H ; \\ \sum_{i \in E^-} P_i \leftarrow \geq P_{E^-}^H ; \forall x \in G_{E^-}. \end{aligned} \quad (5)$$

Можна накладати обмеження і на інші показники ефективності програми ТО, розглянуті вище.

Розглядаючи витрати, які бажано мінімізувати, необхідно враховувати також і можливі обмеження на деякі з ресурсів (наприклад, на кількість обслуговуючого персоналу). У цьому випадку задача (4) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \max : g \leftarrow ; P_i \leftarrow \geq P_i^H, i \in E^+ ; \\ P_i \leftarrow \geq P_i^H, i \in E^- ; \forall x \in G ; g_k \leftarrow \leq g_k^H, \end{aligned} \quad (6)$$

де g_k^H — обмеження на витрати k -го ресурсу; $k = \overline{1, K}$ — вид обмежених ресурсів.

Усі варіанти задач (4)–(6) або їхні комбінації можуть бути записані в такому узагальненому вигляді:

$$\max : g \leftarrow ; C_m \leftarrow \geq 0, m = \overline{1, S} ; \forall x \in G, \quad (7)$$

де S — загальне число обмежень задачі.

Наприклад, задача (6) може бути представлена як (7), якщо ввести індикаторну функцію:

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i \in E^+ ; \\ 0, & \text{якщо } i \in E^- , \end{cases}$$

і за її допомогою визначити функції $C_m \leftarrow$ таким чином:

$$C_m \bar{X} = \begin{cases} \delta_i [P_i \bar{X} - P_i^i], \text{ якщо } m = i, i = \overline{1, n}; \\ g_k^i - g_k \bar{X}, \text{ якщо } m = n + k, k = \overline{1, K}. \end{cases}$$

Широкі можливості марковських і полумарковських моделей для аналізу програми ТО створюють не менш широкі можливості для постановки різних задач синтезу, подібних (1)–(6) і будь-яких їхніх комбінацій. І хоча ефективність розв'язання задач оптимального синтезу програми ТО ПС, коли параметри цієї системи вже реалізовані в документації і на дослідних зразках ПС, залежить від оптимальності прийнятих рішень на стадії розробки вимог і проектування, розв'язання задач (1)–(6) дозволить за результатами експлуатації прийняти рішення про стан

виконання вимог до параметрів ТО як окремих агрегатів і систем, так і ПС у цілому і за необхідності намітити шляхи доведення їх до необхідних значень або провести оптимальне коригування з урахуванням організаційно-технічних особливостей конкретної авіакомпанії.

Доповненням до показників ефективності програми ТО, розглянутих вище, є комплексний коефіцієнт ефективності програми ТО, який відповідно до мети, яку повинна вирішувати програма ТО, був прийнятий як коефіцієнт готовності до застосування за призначенням.

Використовуючи моделі процесу ТО можна отримати два типи коефіцієнта готовності до застосування за призначенням.

1. Модельний коефіцієнт K'_r першого типу — коли експлуатаційні характеристики програми ТО беруться з теоретичних міркувань після оптимізації моделі.

2. Модельний коефіцієнт K''_r другого типу — коли експлуатаційні характеристики програми ТО обираються за результатами попередньої експлуатації.

Отримання K_r, K'_r, K''_r дає змогу виконати аналіз відповідності реально діючої програми ТО з її модельним значенням, а також адекватність параметрів моделі параметрам програми ТО.

За результатами комп'ютерного експерименту було обрано:
якщо

$$\Delta K'_a = \left(1 - \frac{K''_a}{K'_a} \right) 100 \% \geq 5 \% ,$$

тоді параметри моделі експлуатації АТ недопустимо відрізняються від оптимальних (необхідно перевірити експлуатаційні дані щодо помилок при визначенні параметрів програми ТО; якщо помилки не виявлені, необхідно розробити заходи з поліпшення цих характеристик або переглянути модельні параметри і виконати повторну оптимізацію);

якщо

$$\Delta K''_a = \left(1 - \frac{K_a}{K''_a} \right) 100 \% \geq 3 \% ,$$

тоді експлуатаційна ефективність програми ТО не відповідає модельній (необхідно перевірити інтервали часу, які були віднесені до інтервалів, під час яких виконувались роботи з ТО. Якщо помилки не виявлені, розроблюються заходи з поліпшення стану ТО конкретного літака або за необхідності приймаються нові параметри програми ТО і виконується проектування нової програми ТО).

Для ПС за коефіцієнт якості програм ТО, з погляду поставленої нами мети, з якою вона функціонує, можна було б обрати ймовірність перебування ПС у стані готовності до застосування. Але як і інші характеристики програми ТО цей показник не дозволяє порівняти дві програми ТО ПС між собою або ефективність програм ТО одного і того ж літака за різні відрізки часу. Тому введемо такі поняття:

— коефіцієнт використання

$$\eta_b = \frac{\tau_\Sigma}{\tau_p};$$

— коефіцієнт обсягу робіт

$$\eta_{o.p} = \frac{w_\Sigma}{w_p};$$

— коефіцієнт економічної віддачі

$$\eta_{e.b} = \frac{C_\Sigma}{C_{TO}};$$

— коефіцієнт ускладненої експлуатації $\eta_{y.e}$,

де τ_p — розрахунковий період, год; w_p — максимально можливий обсяг роботи який визначається за формулою:

$$w_p = \tau_p v_k m_{\max},$$

де v_k — крейсерська швидкість літака; m_{\max} — максимальне комерційне завантаження літака.

Враховуючи ці коефіцієнти, показник якості програми ТО:

$$K_A = K_a \eta_a \eta_{i.o} \eta_{a.a} \eta_{o.a}.$$

Для коефіцієнта якості можна також ввести поняття модельного коефіцієнта якості програми ТО першого і другого типу та виконати аналіз програм ТО аналогічно, як це було запропоновано для коефіцієнтів готовності до застосування за призначенням.

Слід зауважити, що за відсутності під час експлуатації виникнення складних ситуацій коефіцієнт ускладнення експлуатації можна не враховувати у зв'язку зі складним його визначенням. Методики наведені в [1], на жаль, мають напів-експертну реалізацію і базуються на даних експлуатації лише літаків фірми *Boeing*.

Під час нормування показника якості програми ТО можна скористатись формулою:

$$K_E^H = K_r^H \eta^H \eta_{y.e}^H,$$

де K_r^H — нормований (модельний) коефіцієнт готовності до застосування за призначенням; η^H — нормований коефіцієнт використання ПС як комерційного транспортного засобу

($\eta^H = \eta_b^H \eta_{o.p}^H \eta_{e.b}^H$); $\eta_{y.e}^H$ — нормований коефіцієнт ускладненої експлуатації для очікуваних умов використання літака.

Встановлення нормованого коефіцієнта використання ПС як транспортного засобу дозволяє під час експлуатації підтримувати заданий рівень якості його програми ТО завдяки зміні режимів його використання, що повністю відповідає тенденціям світової практики. Аналогічний коефіцієнт якості програми ТО пропонується використовувати і для комплектуючих літака, але у трохи зміненій формі:

$$K_E = K_r \eta_b \eta_n \eta_{b.to} \eta_{y.e},$$

де K_r — коефіцієнт готовності до застосування за призначенням; η_b — коефіцієнт використання $\eta_b = \tau_\Sigma / \tau_p$ (τ_Σ — наліт літака на якому встановлено обладнання); η_n — коефіцієнт навантаження

$$\eta_n = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{F}_{i.пр}}{n F_{\max}},$$

(n — число циклів використання комплектуючого, $\bar{F}_{i.пр}$ — середнє приведене навантаження; F_{\max} — максимально допустиме навантаження); $\eta_{b.to}$ — коефіцієнт вартості ТО

$$\eta_{b.to} = \frac{C_{TO}}{C_{TO.пл}},$$

(C_{TO} — вартість ТО комплектуючого за розрахунковий період; $C_{TO.пл}$ — вартість ТО літака за той же період); $\eta_{y.e}$ — коефіцієнт ускладненої експлуатації, який розраховується за методиками наведеними в праці [1].

Крім цих показників, на практиці використовуються й показники, запропоновані в праці [2].

Висновки

На основі теоретичних узагальнень, пов'язаних з дослідженням виробничих процесів під час технічної експлуатації авіаційної техніки, удосконалено методологію відпрацювання програм технічного обслуговування повітряних суден в експлуатації та обґрунтовано принципи побудови математичної моделі керування програмою технічного обслуговування транспортних літаків.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Обжерин Ю. Е.* Расчет надежностных показателей некоторых типов неоднородных структур / Ю. Е. Обжерин // Прикладные задачи теории вероятностей. — К. : изд. ИМ АН УССР, 1982. — С. 91–102.
2. *Тамаргазін О. А.* Системи технічного обслуговування пасажирських літаків / О. А. Тамаргазін. — К. : КМУЦА, 2000. — 268 с.