

**Яцко М.М.**

## **ФОРМУВАННЯ КРИТЕРІЮ ОПТИМАЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*Аналіз процесу технічної експлуатації літальних апаратів підтверджує необхідність формування критерію оптимальності даного процесу. Для вирішення поставленого наукового завдання в статті викладено один із імовірних підходів для формування показників ефективності процесу технічної експлуатації, а також математична постановка часткових задач даного дослідження.*

**Вступ.** Вирішення поставленого наукового завдання полягає у визначенні вимог та критеріїв, що висуваються при визначенні показників ефективності процесу технічної експлуатації (ПТЕ) літальних апаратів (ЛА). Данні вимоги мають характеризуватися простотою, інформаційною забезпеченістю, достатньою точністю, чутливістю, повнотою та відсутністю надмірності даного процесу. Для формування критерію оптимальності ПТЕ потрібно визначити основні причини, пов'язані з дослідженням даного процесу, а також характеристики основних показників ефективності ПТЕ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізуючи роботи щодо оцінки ефективності процесу технічної експлуатації літальних апаратів таких вчених, як Смирницький Е.К., Игнатов М.И., Соловйов В.И., Петренко В.Г., Мостовий В.В., Добровольський Ю.Б., Иванов В.С. та ін. визнано, що практика оцінювання ефективності експлуатації ЛА показала широке застосування різних характеристик показників ефективності, серед яких основними є: імовірність випадкової події, ступінь імовірнісної гарантії досягнення результату не нижче заданого рівня, середній результат, середній квадрат відхилень результату від очікуваного, дисперсія результату та ін. Але для більш чіткої та повної оцінки ефективності процесу технічної експлуатації літальних апаратів визначено необхідність формування критерію оптимальності.

Питання щодо формування критерію оптимальності процесу технічної експлуатації (ПТЕ) літальних апаратів є не достатньо досліджене.

**Метою даної статті є** формування критерію оптимальності процесу технічної експлуатації літальних апаратів (ЛА) та математична постановка часткових задач дослідження.

**Основна частина.** Постановка задачі. До показників ефективності технічної експлуатації ЛА висуваються ряд вимог, що характеризуються простотою, інформаційною забезпеченістю, достатньою точністю, чутливістю, повнотою та відсутністю надмірності процесу, що досліджується [1].

Вибір імовірнісного підходу для формування показників ефективності ПТЕ, що запропонований у дослідженні, пов'язаний з існуванням таких основних причин:

процес експлуатації ЛА є стохастичним та відбувається під впливом випадкових факторів, що обумовлені характером взаємодіючих сил і навантажень на елементи ЛА;

факти відмов елементів функціональної системи ЛА протягом експлуатації є випадковими подіями;

при ідентифікації ТС функціональної системи ЛА не забезпечується абсолютна достовірність інформації, що пов'язана із похибками вимірювань.

Практика оцінювання ефективності експлуатації ЛА показала широке застосування різних характеристик показників ефективності, серед яких основними є: імовірність випадкової

події, ступінь імовірнісної гарантії досягнення результату не нижче заданого рівня, середній результат, середній квадрат відхилень результату від очікуваного, дисперсія результату та ін [2].

Для формування критерію оптимальності ПТЕ визначимо формально показник ефективності як математичне очікування загальної функції відповідності  $\rho$  мети, що досягнута  $Y^{(R)}$ , тій, що вимагається  $Y_b^{(R)}$ , при розгляді варіанту  $u \in U$ :

$$\vec{W}(u) = M[\rho\{Y^{(R)}(u), Y_b^{(R)}\}], \quad u \in U, \quad (1)$$

де  $Y^{(R)}(u) = (g^{(r_1)}(u), C^{(r_2)}(u), T_{\text{тр}}^{(r_3)}(u), T^{(r_4)}(u), \dots)$ ;

$U = (u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n)$  – множина допустимих варіантів (стратегій) організації відновлення, що формуються, з множини керованих параметрів процесу ТО і Р об'єктів АТ.

В реальних умовах кількість можливих варіантів обмежена. Виходячи з цього, завдання вибору раціонального варіанту організації відновлення бортового обладнання ЛА вдається звести до задачі у варіантній постановці, при якій з множини альтернативних варіантів необхідно обрати найбільш сприятливий. Зміна хоча б однієї компоненти вектору управління  $u$  на етапах технічного обслуговування, що розглядаються, призводить до створення нового варіанту побудови процесу відновлення.

Альтернативні варіанти  $u_j$  формуються зміною значень компонент вектору  $u$ ,

$$u = (\lambda, \mu, x, p, q, Q, \eta, T_p, z),$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов об'єкта АТ;

$\mu$  – інтенсивність самостійного прояву відмови об'єкта АТ;

$x$  – періодичність контролю;

$p$  – імовірність виявлення відмови засобом контролю;

$q$  – імовірність надання засобом контролю інформації про “хибну” відмову;

$Q$  – повнота відновлення об'єкта АТ;

$\eta$  – повнота контролю відмов (пошкоджень);

$T_p$  – тривалість експлуатації об'єкта АТ;

$z$  – варіант розміщення регіональних баз ремонту АТ з кінцевої множини таких варіантів  $Z$ .

У зв'язку з тим, що залучення об'єктів АТ в різні стани процесу реального ПТЕ статистично повторюються, то для оцінювання ефективності такого процесу доцільно використовувати показники ефективності математичного очікування результату [2, 3, 4]

$$\vec{W}(u) = M[Y^{(R)}(u)], \quad W_r(u) = M[y_r(u)], \quad r = \overline{1, R}, \quad u \in U, \quad (2)$$

Показник (2) є частковим випадком показника (1), при якому функція відповідності дорівнює реальному результату:  $\rho\{Y^{(R)}(u), Y_b^{(R)}\} = Y^{(R)}(u)$ .

Показники середнього результату (2) нашли широке застосування під час досліджень ефективності складних технічних систем [2, 4]. Це пов'язано із властивістю їх адитивності, що спрощує їх оцінку та дає можливість представлення результату  $Y^{(R)}(u)$  процесу експлуатації досліджуваної системи у вигляді суми результатів окремих його етапів  $Y_i^{(R)}(u)$ :  $Y^{(R)}(u) = \sum_i Y_i^{(R)}(u)$ .

Середній результат процесу представимо у вигляді суми середніх часткових результатів, не враховуючи їх можливу стохастичну залежність:  $M\left[\sum_i Y_i^{(R)}(u)\right] = \sum_i M[Y_i^{(R)}(u)]$ .

Вибір та обґрунтування показників ефективності функціонування бортового обладнання ЛА дозволяє оцінити різні варіанти їх відновлення та обрати для сформульованого критерію “найкращий” варіант  $u^*$  при заданих умовах експлуатації.

При використанні у якості показників ефективності процесу відновлення об'єктів АТ показника середнього результату (2) і було обрано найбільш прийнятний критерій оптимальності розглянутих стратегій  $u \in U$  відновлення бортового обладнання ЛА – критерій найбільшого середнього результату [4] у вигляді (1.1).

Виходячи з цього критерієм ефективності досліджуваного процесу є отримання максимуму економічного виграшу при зміні організації відновлення за умови забезпечення заданого рівня стаціонарного коефіцієнту готовності  $K_r$

$$W(U) = \max_{k=1, n} \{M[C_{\Sigma}(u_{\text{існ}})] - M[C_{\Sigma}(u_k)]\}, \text{ при } K_{r_k} \geq K_{r_{\text{існ}}}, \quad (3)$$

де  $U = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_n)$  – множина визначених допустимих варіантів організації відновлення;

$u_k = u_l \cup u_m$  – множина параметрів процесу експлуатації;

$u_l = (Q_j, k_{\text{оф}}, z)$  – множина керованих параметрів процесу технічної експлуатації;

$u_m = (\lambda_i, \mu_i, T_{p_i}, x_j, \eta_j, p_j, q_j)$  – множина некерованих параметрів процесу технічної експлуатації;

$M[C_{\Sigma}(u_{\text{існ}})]$  – математичне очікування сумарних витрат при існуючій організації відновлення бортового обладнання літальних апаратів за період, що розглядається;

$M[C_{\Sigma}(u_k)]$  – математичне очікування сумарних витрат при альтернативних варіантах організації відновлення бортового обладнання літальних апаратів за період, що розглядається.

*Математична постановка часткових задач дослідження.* Формальне представлення поставленої задачі оцінки та прогнозування техніко-економічної ефективності впровадження різних варіантів організації відновлення бортового обладнання ЛА з метою підвищення ефективності процесу технічної експлуатації ЛА дозволяє визначити наступні часткові завдання для її вирішення:

формування та конкретизація вихідної множини альтернативних варіантів організації відновлення бортового обладнання ЛА  $U$  за наявною інформацією про реальний процес технічної експлуатації  $\Theta$ ;

виділення суттєвих факторів  $\Lambda$ , що визначають умови розвитку за часом ПТЕ об'єктів АТ за наявною інформацією про процес технічної експлуатації  $\Theta$ ;

побудова математичної моделі  $H$ , що ставить у відповідність множині варіантів побудови системи відновлення та факторів  $\Lambda$  множину результатів ПТЕ об'єктів АТ  $Y^{(R)}(u)$  на підставі обраного класу моделі та методу моделювання, а також запропонованого формального опису ПТЕ складних технічних об'єктів;

вибір сукупності часткових показників техніко-економічної ефективності ПТЕ об'єктів АТ  $W_r(u)$ , що входять в деякий узагальнений векторний показник  $\vec{W}(u)$ , у відповідності з метою дослідження;

визначення оператора  $\Psi_{\text{об}}$  відповідності “результат-показник” на підставі моделі  $H$ , відомих визначень сукупності обраних часткових показників техніко-економічної ефективності  $W_r(u)$ ;

оцінювання векторного показника ефективності  $\vec{W}(u)$  для обраних варіантів організації відновлення  $u$  із множини альтернативних варіантів  $U$  з застосуванням моделей  $H$  і  $\Psi_{\text{об}}$ ;

формування критерію оптимальності  $K$  множини альтернативних варіантів організації відновлення БО ЛА  $U$  на підставі наявної апріорної інформації про принади ОПР  $\mathcal{Z}$ , обраних часткових показників ефективності  $W_r(u)$ , а також у відповідності з обраною формою критерію  $K$ ;

визначення варіанту організації відновлення бортового обладнання ЛА  $u^*$  з множини  $U$  на підставі сформованого критерію оптимальності  $K$ , техніко-економічне обґрунтування та вибір раціонального складу системи відновлення за результатами моделювання.

Математичний вигляд часткових задач дослідження ефективності різних варіантів організації відновлення бортового обладнання ЛА, повинен відповідати двом основним процесам прийняття рішень [2]:

- 1) процесу отримання результатів

$$\Psi_{\text{об}} : \left\{ Y \mid H : U \times \Lambda \xrightarrow{\ominus} Y(G) \right\} \xrightarrow{\ominus} W ; \quad (4)$$

- 2) процесу аналізу результатів:  $\mathcal{Z} \xrightarrow{\ominus} K : U \xrightarrow{W} u^*$ .

Вираз (4) означає, що залежність векторного показника ефективності  $\vec{W}(u)$  від обраного варіанта організації відновлення  $u \in U$  та інших суттєвих факторів  $\Lambda$ , що визначають умови ПТЕ об'єктів АТ, задано у вигляді відображення

$$\Psi_{\text{об}} : \left\{ H : U \times \Lambda \rightarrow Y^{(R)} \right\} \rightarrow W ,$$

де  $H(\varphi) : U \times \Lambda \rightarrow Y^{(R)}$  – математична модель процесу технічної експлуатації СТС, що дозволяє оцінити значення різних часткових характеристик реалізації  $y_r(u)$  результату  $Y^{(R)}(u)$  для кожного варіанту  $u \in U$ ;  $\varphi$  – оператор переходу.

Формально представимо модель ПТЕ об'єкта АТ, що розроблюється,  $\Psi_{\text{об}} : U \times \Lambda \rightarrow W$  у вигляді складового оператора оцінювання ефективності, який є суперпозицією операторів  $H$ ,  $Q$  та  $M$ :  $\Psi_{\text{об}} = H \circ Q \circ M$ , де  $Q$  – оператор відповідності;  $M$  – оператор усереднення;  $\circ$  – символ суперпозиції.

Очевидно, що оператори  $Q$  і  $M$  відображують множину значень  $Y^{(R)}(u)$  результатів ПТЕ об'єктів АТ у множині значень показника ефективності  $\vec{W}(u)$ . Виходячи з цього, множина значень  $Y^{(R)}(u)$  з використанням оператора відповідності  $Q : Y \times Y_b \rightarrow \rho$  відображується у множині значень функції відповідності  $\rho$ , а оператор усереднення  $M : \rho \rightarrow W$  переводить множину значень функції відповідності  $\rho$  у множину значень показника ефективності  $\vec{W}(u)$ :  $Q \circ M : Y \rightarrow W$ .

Відповідно до розробленого формалізованого представлення процесу технічної експлуатації ЛА як процесу зміни його станів  $e_i$  у множині  $E$ , за деякий час експлуатації  $T$  представимо формально оператори  $\varphi$  і  $H$ , що є операторами переходу і виходу, у вигляді:  $\varphi : E \times U \times T \times \Lambda \rightarrow E$ ,  $H : E \times U \times T \times \Lambda \rightarrow Y(G)$ .

З огляду на (4) структурну схему моделі процесу технічної експлуатації об'єктів авіаційної техніки можна представити у вигляді рис. 1.

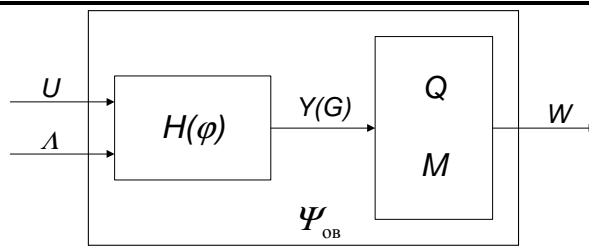


Рис. 1. Структурна схема моделі процесу технічної експлуатації складної технічної системи

**Висновки.** На підставі проведеного аналізу особливостей процесу технічної експлуатації (ПТЕ) літальних апаратів і мети дослідження, сформульовано критерій оптимальності. Для чіткої та точної оцінки ефективності процесу технічної експлуатації у математичному вигляді часткових задач дослідження визначено два основні процеси прийняття рішень: 1 - процесу отримання результатів; 2 - процесу аналізу результатів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Смирницкий Е.К. Экономика и машина. – М.: Экономика, 1970. – 391 с.
2. Игнатов М.И. и др. Техничко-экономический анализ машин и приборов. – М.:Машиностроение, 1985. – 248 с.
3. Соловйов В.І., Петренко В.Г., Мостовий В.В., Добровольський Ю.Б. Вибір показників та формування критерію ефективності системи військового ремонту авіаційної техніки//Електроніка та системи управління. – К.: НАУ, 2005. – № 2(4). – С. 105 – 110.
4. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10т. /Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988. – Т.3: Эффективность технических систем /Под общ.ред. В.Ф.Уткина, Ю.В.Крючкова. – 328 с.

**Яцко М.Н.**

#### ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Анализ процесса технической эксплуатации летательных аппаратов подтверждает необходимость формирования критерия оптимальности данного процесса. Для решения поставленной научной задачи в статье изложены один из вероятных подходов для формирования показателей эффективности процесса технической эксплуатации, а также математическая постановка частных задач данного исследования.*

**Ключевые слова:** *показатель эффективности, процесс технической эксплуатации, математическая модель.*

**Yatsko M.**

#### FORMATION CRITERIA OF OPTIMALITY FOR TECHNICAL OPERATION OF AIRCRAFT

*Analysis of the process of technical operation of aircraft confirms the necessity of forming criteria of optimality of the process. To solve this problem in a scientific article presents one plausible approaches to create performance process technical operation and mathematical formulation of partial tasks of the study.*

**Keywords:** *efficiency indicator, the process of technical operation, mathematical model.*