

УДК 656.735.3.083(045)

Ю.В. Брусило, асп.  
Т.Ю. Крамаренко, асп.

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Національний авіаційний університет  
E-mail: avia\_icao@mail.ru

*Розглянуто методику визначення ефективності застосування авіаційної наземної техніки під час формування системи експлуатації повітряних суден цивільної авіації. В основу методики покладено використання номенклатури порівняльних показників досконалості засобів наземного обслуговування літаків.*

*In the article we have observed the problem of the account of efficiency of aviation land technics at formation of maintenance systems of civil aircraft planes. In a basis of this technique use of the nomenclature of comparative indicators of perfection of means of aircraft land service is necessary.*

*Рассмотрена методика определения эффективности применения авиационной наземной техники при формировании системы эксплуатации воздушных судов гражданской авиации. В основу методики положено использование номенклатуры сравнительных показателей совершенства средств наземного обслуживания самолетов.*

### Постановка проблеми

Основними завданнями технічного обслуговування (ТО) пасажирських літаків є забезпечення безпечної, регулярної та інтенсивної їх експлуатації з мінімальними витратами праці, часу і матеріальних ресурсів.

Реалізація цих завдань здійснюється під час експлуатації літака, яка є однією зі стадій його життєвого циклу.

Роботи, які виконуються в процесі технічної експлуатації літака, об'єднуються з урахуванням їх цільового призначення і періодичності виконання в комплекси, які є організаційними формами. Технічне обслуговування літаків розділяють на оперативне ТО і періодичне ТО виходячи зі специфіки завдань, які вирішуються в процесі їх виконання.

Оперативне ТО проводиться для того, щоб переконатися в працездатності функціональних систем, забезпечити готовність літака до польоту, виявити та усунути існуючі відмови або пошкодження агрегатів і вузлів конструкції, які перешкоджають подальшій льотній експлуатації літака.

У процесі оперативного ТО усувають тільки відмови та пошкодження агрегатів і елементів систем, які створюють загрозу для безпеки польотів або роблять неможливим виконання конкретного завдання на політ.

Усунення інших відмов і пошкоджень відкладають до моменту, який регламентується переліком мінімального устаткування, необхідного для льотної експлуатації літака до певної форми ТО, або переліком допустимих до певної форми ТО відмов та пошкоджень агрегатів і елементів його конструкції.

До оперативного ТО відносять обслуговування пасажирських салонів літака, завантаження багажу, доставку пасажирів до літака та їх посадку на борт, забезпечення літака на стоянці електроенергією, стиснення повітря, кондиціонування повітря в салонах літака і його технічних відсіках та багато інших робіт, які виконуються з застосуванням сучасної авіаційної наземної техніки (АНТ) [1].

Не врахування цієї особливості у разі моделювання оперативного ТО пасажирських літаків веде до суттєвої неадекватності цих моделей і хибних висновків у разі їх застосування під час планування обслуговування групи літаків, особливо у разі збою розкладу польотів.

### Вирішення проблеми

Для вирішення цієї проблеми розглянемо експлуатацію повітряних суден (ПС) як систему, яка складається з  $K$  елементів (об'єкта експлуатації, інженерно-технічного складу, АНТ тощо) [2].

Момент появи збійної ситуації в процесі функціонування такої системи довільного  $k$ -го елемента позначимо через  $t$ .

Стан системи визначається випадковим вектором  $\{t_k\}$ ,  $k = \overline{1, K}$ , що має деяку спільну  $K$ -мірну густину ймовірності  $q(t_1, t_2, \dots, t_K, t)$ .

Умовний ефект від застосування цієї системи експлуатації, збійні ситуації у складових частинах якої відбулись у моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_K$ , є деякою функцією цих моментів:

$$P(t) = P(t_1, t_2, \dots, t_K, \tau). \quad (1)$$

де  $\tau$  – тривалість інтервалу часу  $[0, t]$ , на якому вона застосовується.

Умовний показник ефективності системи експлуатації ПС (1) залежно від поставлених перед нею завдань може мати різний зміст:

- рівень безпеки польотів;
- рівень регулярності польотів;
- мінімізація витрат;
- мінімізація кількості виконавців.

Для всіх можливих станів системи експлуатації ПС показником ефективності можна вважати математичне сподівання функції випадкових аргументів:

$$E = M[P(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} P(t_1, \dots, t_K) dt_1 \dots dt_K. \quad (2)$$

Математичне сподівання (2) функції (1) характеризує процес функціонування системи експлуатації ПС інтегрально для всіх можливих випадкових моментів часу виникнення збійних ситуацій, а функція (1) характеризує цей процес лише за умови, що збійні ситуації відбулися в певні моменти часу  $t_k$ .

Умовний показник ефективності системи експлуатації ПС (1) оцінює якість процесу функціонування цієї системи в якомусь одному її стані, обумовленому усуненням збійних ситуацій у визначені моменти часу.

Відповідно до цього приведемо таке визначення ефективності системи експлуатації ПС з урахуванням можливості перебування його та АНТ, яка використовується під час ТО, у різних станах.

Ефективністю системи експлуатації ПС будемо вважати властивість процесу функціонування цієї системи під час заданої програми експлуатації ПС, від якої залежить кінцевий результат виконання завдання, поставленого перед ПС як транспортним засобом. Ця властивість зумовлює корисний ефект від застосування системи за умови, що збійні ситуації відбулися у фіксовані моменти часу.

Для визначення ефективності системи експлуатації ПС і порівняння їх між собою необхідно мати числовий показник ефективності функціонування.

Конкретний зміст показників ефективності системи експлуатації ПС залежить від його специфіки та призначення.

Показники ефективності можуть бути ймовірними, інформаційними, вартісними тощо.

Загальні вимоги показників ефективності:

- досить наочний і зрозумілий фізичний зміст;
- відповідність поставлених перед системою експлуатації ПС завдань;
- можливість досить простого визначення;
- однаковий фізичний зміст за різних варіантів використання ПС за призначенням.

Зазначеним вимогам найбільш повно відповідає прийняття як основного показника ефективності системи експлуатації ПС імовірності виконання поставленої функціональної задачі.

Імовірнісний показник прямо характеризує властивості цієї системи експлуатації ПС.

Використання ймовірнісного показника (2) для оцінки ефективності задовольняє такі важливі вимоги:

- максимальний облік факторів, які впливають на виникнення збійних ситуацій;

- зручність використання у ході розрахунків ефективності системи експлуатації ПС;
- пристосованість до нормування;
- принципова можливість практичної перевірки заданих вимог у процесі експлуатації і спеціальних випробувань.

Процес виникнення збійних ситуацій у системі експлуатації ПС за своєю фізичною природою має випадковий характер, тому показники ефективності є статистичними величинами, які визначаються на основі правил математичної статистики і теорії ймовірностей.

Вибір як основний ймовірний показник ефективності системи експлуатації ПС (2) дозволяє виключити багато критеріїв, які ускладнюють проведення досліджень.

Показник ефективності (2) є функцією часу застосування  $t$ , що у загальному випадку є випадковою величиною. Це може бути зумовлено, наприклад, різною інтенсивністю використання ПС і АНТ, різним рівнем підготовки інженерно-технічного складу, фінансовими можливостями авіакомпанії тощо.

Тому ймовірність (2) можна розглядати як функцію  $E(t)$  випадкового аргументу  $t$ , яка застосовується на відрізку часу  $[t_0, t_0 + \tau]$ , значення якої розподілені з деякою сумісною густиною ймовірності значень часу початку певного етапу експлуатації ПС і його довжини  $q(t_0, \tau)$ . Повну ймовірність виконання поставленої задачі перед системою експлуатації ПС знайдемо за формулою математичного сподівання:

$$\bar{E} = M[E(t_0, \tau)] = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} E(t_0, \tau) q(t_0, \tau) dt. \quad (3)$$

Оскільки тривалість експлуатації ПС велика і засоби АНТ, які використовуються під час ТО ПС, мають випадковий характер у широкому діапазоні можливих значень, то оцінка ефективності ймовірності (2) є певною мірою суб'єктивною (невизначеною), тому інтегральний критерій (3) більш об'єктивний.

Розсіювання можливих значень ймовірності  $E$  щодо її математичного сподівання (3) визначається за формулою дисперсії функції випадкових аргументів [3]:

$$\begin{aligned} \sigma^2[E(t_0, \tau)] &= \\ &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} [E(t_0, \tau) - \bar{E}]^2 q(t_0, \tau) dt_0 d\tau. \end{aligned} \quad (4)$$

Чим менша дисперсія (4), тим у меншому ступені ймовірність виконання задачі  $E$  відрізняється від своїх середніх значень.

За функцією  $E(t_0, \tau)$  і відомою густиною ймовірності  $q(t_0, \tau)$  методами теорії ймовірностей [3] можна знайти густину ймовірності  $V(E)$  можливих значень ймовірності  $E$ . Тоді дисперсія значень ймовірності  $E$  виразиться формулою

$$\sigma^2[E] = \int_0^1 (E - \bar{E}) V(E) dE. \quad (5)$$

Обчислення дисперсії значень ймовірності  $E$  за формулами (4) і (5) має призводити до однакових результатів. Надійна ймовірність того, що значення ймовірності виконання поставленої задачі  $E$  не менш заданої  $E_3$ , дорівнює

$$P(E \geq E_3) = \int_{E_3}^1 V(E) dE. \quad (6)$$

Чим більше надійна ймовірність (6), тим ефективніше функціонує ця система експлуатації ПС.

Поняття збійної ситуації для системи експлуатації ПС важко сформулювати, оскільки вона здатна виконувати поставлене перед нею завдання у разі порушення як організаційних, так і технічних та інформаційних складових її елементів. Один з можливих підходів до рішення цієї задачі базується на пред'явленні вимог до рівня «спаду» ефективності, що задається у вигляді умови:

$$E(t) < E_3. \quad (7)$$

У разі виконання нерівності (7) систему вважають неспроможною виконувати покладені на неї задачі. Із розв'язку рівняння

$$E(t) = E$$

знаходять час функціонування системи без збійних ситуацій як зворотну функцію:

$$\tau = E^{-1}E_3. \quad (8)$$

Вимоги до ефективності системи експлуатації ПС можуть бути різними залежно від конкретних умов застосування ПС, тобто задане значення ймовірності  $E$  в загальному випадку є випадковою величиною.

Час функціонування системи без збійних ситуацій оцінюється математичним сподіванням функції (8):

$$\bar{\tau} = M [E^{-1}E_3].$$

Особливістю розглянутих показників ефективності систем експлуатації ПС є їх імовірісно-статистична природа [4].

Але дослідження ефективності таких систем на основі моделі загального вигляду (2) майже неможливо через труднощі знаходження підінтегральної функції (1) і її багаторазового інтегрування. Це вимагає введення обмежень і припущень, які мають бути коректними і достатніми. Перше припускає несуперечність прийнятих обмежень фізичній сутності реальних процесів функціонування систем експлуатації ПС. Друге – введені обмеження повинні забезпечувати простоту розв'язання задачі оцінки ефективності, однак не за рахунок суттєвої втрати його строгості.

Розглянуті вхідні положення визначають основний зміст, напрями і методологію дослідження ефективності систем експлуатації ПС і її окремих складових частин, зокрема таких, як АНТ.

Дослідження ефективності систем експлуатації ПС і їх складових частин передбачає дві основні взаємозалежні задачі: аналіз і забезпечення (синтезу) їх необхідної ефективності. Кінцевою метою аналізу ефективності є визначення показників ефективності експлуатації ПС і виявлення на основі цього фактора основних причин, які впливають на

надійність і ефективність роботи АНТ, інженерно-технічного складу тощо. Задачу розв'язують за допомогою відповідних розрахункових методів.

Забезпечення ефективності експлуатації ПС полягає в розробленні методів, організаційно-технічних заходів і конструктивно-схемних рішень, спрямованих на досягнення необхідної ефективності виробничих процесів. Найбільш складним і важливим етапом розв'язання задачі аналізу ефективності експлуатації ПС є одержання кількісних значень показників ефективності та її складових частин.

На етапі проектування ПС така оцінка здійснюється для прогнозування очікуваної ефективності експлуатації конкретного типу ПС. Це необхідно для обґрунтування проекту ПС, а також розв'язання ряду організаційно-технічних питань, пов'язаних з вибором:

- оптимального чи раціонального варіанта структури функціональних систем ПС;
- способів резервування;
- глибини і методів контролю;
- кількості і номенклатури запасних комплектуючих;
- базової періодичності профілактичних робіт;
- вимог до надійності комплектуючих;
- характеристик АНТ.

На етапі експлуатації оцінка її ефективності дозволяє:

- розробляти організаційно-технічні заходи щодо підвищення ефективності ТО ПС;
- уточнити тактико-технічні вимоги до знову створюваних ПС і АНТ на основі досвіду експлуатації аналогів;
- оцінити перспективні напрями модернізації ПС і АНТ, яка використовується у разі технічної експлуатації ПС;
- розробити експлуатаційні заходи для ефективнішого використання можливостей ПС як комерційних транспортних засобів.

Під час оцінювання ефективності експлуатації ПС необхідно чітко сформулювати завдання, в якому повинне бути зазначене:

- призначення і специфічні особливості технічної експлуатації ПС;

- найменування показників ефективності, які необхідно визначити;
- варіанти застосування ПС;
- особливості застосування АНТ під час ТО ПС.

На основі одержаних вхідних даних визначають характер ефективності експлуатації і її складових частин.

Розв'язання задачі забезпечення необхідної ефективності експлуатації ПС полягає в розробленні методів, організаційно-технічних заходів і конструктивно-схемних рішень, спрямованих на досягнення необхідних показників ефективності ПС. У разі технічної, організаційної або економічної неможливості задовольнити ці вимоги може поставати менш складна задача підвищення рівня ефективності порівняно з досягнутим.

### Висновки

Розглянутий підхід до оцінювання ефективності системи експлуатації ПС дозволяє врахувати характерні риси сучасної АНТ:

- наявність у складі функціональних систем і комплексів АНТ елементів, які працюють на різних фізичних принципах;
- значна функціональна і структурна надмірність функціональних систем і комплексів АНТ у процесі розв'язання основних задач;
- широке використання аналогових обчислювальних пристроїв;
- висока надійність більшості елементів.

Ці особливості сучасної АНТ зумовлюють наявність нових властивостей, відсутніх у АНТ попередніх поколінь. Завдяки надмірності функціональних систем і комплексів АНТ здатні виконувати свої функції у разі відмови окремих комплектуючих. Це дозволяє оцінювати ефективність АНТ як елементів системи експлуатації ПС у такій послідовності:

1) на основі аналізу алгоритмів функціонування АНТ і з урахуванням конкретних умов її застосування необхідно визначити коло послідовно виконаних підзадач (етапів), які треба вирішити в межах системи експлуатації ПС для успішного виконання поставленої задачі перед АНТ;

2) для кожної підзадачі треба вибрати свій умовний показник ефективності;

3) виходячи з досвіду попередньої експлуатації і застосування певного типу АНТ необхідно проаналізувати виконання загальних і ввести додаткові обмеження, які дозволяють довести розрахунки ефективності до кінця за прийнятний відрізок часу;

4) після введення обмежень треба вибрати й обґрунтувати моделі, які описують застосування АНТ у цілому в разі вирішенні підзадач експлуатації ПС;

5) використовуючи математичний апарат, який відповідає прийнятим обмеженням і обраним моделям, оцінити ефективність АНТ як елементів системи експлуатації ПС.

### Література

1. *Авиационная наземная техника: справ. / В.Е. Канарчук, Г.Н. Гелетуха, В.В. Запорожец и др. / под ред. В.Е. Канарчука. – М.: Транспорт, 1989. – 278 с.*
2. *Bruce K. Donaldson Analysis of Aircraft Structures: An Introduction / K. Bruce. – Hardcover – 965 pages (2006), McGraw Hill College Div*
3. *Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.*
4. *Епифанов А.Д. Надежность систем управления / А.Д. Епифанов. – М.: Машиностроение, 1975. – 180 с.*

Стаття надійшла до редакції 03.11.10