

УДК 629.735.083(045)

Боузаїєнне Меккі бен Салем (Туніс)

**СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ**

Кафедра ICAO, НАУ, e-mail: eduicao@nau.edu.ua

*Розглянуто питання оцінки умов експлуатації авіаційної техніки в авіакомпаніях з використанням статистичних методів для аналізу відповідності програм з технічного обслуговування парку повітряних кораблів нормативним вимогам.*

**Вступ**

Формуючи режими технічного обслуговування в системі технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) сучасних літаків, які визначають керуваний вплив на об'єкт експлуатації для підтримки і відновлення його експлуатаційних властивостей, необхідно вирішити оптимізаційне завдання відповідності робіт ТОіР фактичній потребі комплектуючих авіаційної техніки (АТ) в їх виконанні.

Така відповідність визначається реалізацією ефективної стратегії ТОіР кожного комплектуючого літака у реальних умовах експлуатації.

Формально стратегія ТОіР може бути ефективною для одного літака, групи літаків чи всього парку, проте вимоги норм льотної придатності літаків з безпеки польотів, зокрема, з надійності АТ встановлюються для всього парку літаків даного типу, що є обмеженням і для формування режимів ТОіР окремих комплектуючих літаків.

Але режими ТОіР визначаються станом АТ в експлуатації, а зміна стану зумовлена дією експлуатаційних факторів.

**Аналіз досліджень**

Статистичний зв'язок умов експлуатації і технічного стану АТ ефективно визначається методами планування експерименту, особливості застосування яких для АТ розглянуто в праці [1].

Статистичний експеримент для комплектуючих АТ, які знаходяться в експлуатації, завжди пасивний, тому що змінити умови експлуатації або встановити задані рівні експлуатаційних факторів (крім технічних) неможливо через діючі директивні та функціональні обмеження, зазначені у праці [2]. Значення експлуатаційних факторів статистично стійкі щодо аеропортів базування літаків.

**Постановка завдання**

Технічний стан конкретного типу АТ має характеризуватися узагальненим параметром оптимізації, що об'єктивно відображає зміну стану АТ у процесі експлуатації, і має забезпечувати такі властивості:

– стійкі монотонні або дискретні закономірності зміни в процесі експлуатації;

– об'єктивне відображення умов експлуатації;

– кількісні характеристики, які можна заміряти або розрахувати з необхідною вірогідністю існуючими методами і засобами.

Такі вимоги задовольняють показники безвідмовності АТ або діагностичний параметр.

Вибираючи параметр оптимізації для оцінки умов експлуатації, необхідно визначити, чи є розбіжність у значеннях параметра оптимізації за різних рівнів експлуатаційних факторів, істотних щодо дисперсії значень параметра оптимізації за однакових умов експлуатації досліджуваної АТ.

**Розв'язання задачі**

Зміна значень параметра оптимізації може бути обумовлена не тільки рівнями експлуатаційних факторів, але й тривалістю їх впливу, тому план експерименту рандомізується щодо наробітку (терміну служби) кожного екземпляра АТ або однорідних груп АТ.

За таких умов задачу оцінки розбіжностей у значеннях параметра оптимізації від випадкових факторів і умов експлуатації розв'язують методом двофакторного дисперсійного аналізу, який дає задовільні результати, якщо величини, що оцінюються, нормально розподілені, а їх дисперсії однорідні.

Перевірку гіпотез про нормальність розподілу оцінюваних величин виконують кількісно за критеріями згоди ( $\chi^2$ ,  $W$ ) залежно від обсягу вибірки і необхідного рівня значущості або якісно, на основі аналізу фізичних процесів зміни явищ, що аналізуються, а перевірку однорідності дисперсії виконують за  $G$ -критерієм Кохрана чи  $F$ -критерієм Бартлетта.

Для кількісної оцінки розрізнення дисперсії оцінюваних факторів застосовують  $F$ -критерій Фішера.

План дисперсійного аналізу вибирають залежно від обсягу вибірки й однорідності результатів спостережень у різних умовах експлуатації [3].

Якщо дисперсійним аналізом встановлено значущий статистичний зв'язок параметра технічного стану АТ з умовами експлуатації, для кількісної оцінки такого зв'язку будують регресійну модель і аналізують її.

Відповідність між очікуваними значеннями параметра оптимізації і факторів експлуатації визначається функцією відгуку [3]:

$$\tilde{y} = f(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

де  $\tilde{y}$  – оцінка параметра оптимізації;  $X_i$  – незалежні фактори експлуатації.

Вважається, що для кожних  $j$ -х умов експлуатації АТ фактори  $X_i$  набувають точних значень, що дорівнюють оцінкам математичного сподівання їх величин у цих умовах. Для розв'язання подібної задачі, як правило, достатньо системи рівнянь вигляду:

$$\sum_{j=1}^N \bar{X}_j \sum_{i=1}^K b_i \bar{X}_i = \sum_{j=1}^N \bar{y} \bar{X}_j, \quad (1)$$

де  $\bar{y}$  – математичне сподівання значень параметра в певних умовах експлуатації;  $\bar{X}_i, \bar{X}_j$  – математичні сподівання значень факторів експлуатації в певних умовах;  $b_i$  – коефіцієнти моделі;  $K$  – кількість незалежних факторів.

Відбір незалежних факторів за статистичними даними про умови експлуатації зводиться до обчислення коефіцієнтів парної кореляції і їх порівняння з табличним:  $r_1 - P/2$  за прийнятого рівня значущості  $P$ .

Систему (1) доцільно розв'язувати матричним методом. Тоді у матричній формі систему (1) можна записати так:

$$[M][B] = [y_M],$$

де  $[M] = [X^X][X]$ ;  $[y_M] = [X^X][\bar{y}]$ ;  $[X]$  – матриця факторів;  $[X^X]$  – транспонована матриця факторів;  $[M]$  – інформаційна матриця;  $[\bar{y}]$  – вектор параметра оптимізації;  $[B]$  – вектор коефіцієнтів  $b_i$ . Невідомі коефіцієнти  $b_i$  знаходять з рівняння:

$$[B] = [D][y_M],$$

де  $[D]$  – коваріаційна матриця  $[M]^{-1}$ .

Тоді

$$b_i = \sum_{j=1}^K C_{ij} \quad (i \neq j), \quad i = \overline{0, K},$$

де  $C_{ij}$  – недиагональні члени матриці  $[D]$ .

Значення оцінок коефіцієнтів визначають за методом найменших квадратів. Для наступного аналізу закономірностей зміни параметра оптимізації в різних умовах експлуатації і забезпечення спадкоємності типових, очікуваних і реальних умов експлуатації для побудови моделі доцільно перейти від абсолютних значень факторів експлуатації до відносних:

$$X'_i = \frac{X_i}{X_{oi}} \quad \text{або} \quad X'_j = \frac{X_{oj}}{X_j},$$

де  $X_o$  – типове (або середнє очікуване) значення фактора  $X$ .

Значення  $X'_i > 1 (X'_j > 1)$  повинне відповідати збільшенню впливу даного фактора на параметр оптимізації. Таке нормування відображає фізичний зміст зв'язку параметра та факторів і спрощує вигляд моделі (1).

Властивості регресійної моделі, яка зв'язує параметр очікуваного стану АТ в експлуатації зі значеннями факторів експлуатації, досліджують статичними методами в такій послідовності:

- 1) визначення адекватності моделі;
- 2) визначення інформаційної здатності моделі;
- 3) статичний аналіз моделі (визначення коваріацій, дисперсій і вибіркового парних коефіцієнтів кореляції, коефіцієнтів моделі);
- 4) визначення значимих коефіцієнтів моделі;
- 5) визначення внеску кожного коефіцієнта  $b_i$  у змінення параметра.

Якщо модель побудована на зазначених принципах, адекватна експериментальним даним і має інформаційну здатність, вона дозволяє розв'язувати такі задачі формування режимів ТОіР.

Величина відношення параметра  $\tilde{y}$  в  $i$ -х умовах експлуатації до  $\tilde{y}_o$  у типових розрахункових умовах визначає узагальнений вплив функцій  $f_i$ ,  $\varphi_i$  і  $\theta_i$  на зміну надійності АТ або системи за ( $t_1$ ) фіксованого наробітку (терміну служби), для якого побудована модель, і забезпечує розрахунок реалізації функції надійності  $P_{ij}(t = t_1)$  для всіх реальних умов експлуатації парку літаків цього типу.

Оцінка параметрів розподілу  $P_{ij}(t = t_1)$  для усього парку літаків дозволяє визначити ймовірність досягнення параметром оптимізації  $\tilde{y}$  заданої величини і відповідно визначити потребу в проведенні робіт ТОіР з метою попередження перевищення параметром  $\tilde{y}$  встановлених в експлуатації обмежень.

Побудова ряду моделей для фіксованих наробітків

$$t = t_1, t_2, \dots, t_n$$

дозволяє визначити параметри реалізації розподілу  $P_{ij}(t)$  для кожних  $j$ -х умов і  $P_i(t)$  для парку виробів у цілому, що забезпечує формування режимів ТОіР цього типу виробу на основі будь-якої стратегії ТОіР з урахуванням умов експлуатації кожного конкретного виробу.

Цільове дослідження стану АТ для формування режимів її ТОіР провадять, як правило, на групі літаків, які експлуатуються з випередженням наробітку за спеціальними програмами, причому кількість літаків і необхідне випередження їх наробітку розраховують статичними методами на основі розподілу  $P_{io}(t)$ .

Застосування залежності  $P_i(t)$  полегшує цю задачу, тому що при кожному фіксованому наробітку  $t = t_1, t_2, \dots, t_n$

відношення  $\tilde{y}_o/\tilde{y}_i$  визначає зміну  $P_i(t)$  відносно  $P_{oi}(t)$ , що рівносильно відповідній зміні наробітку виробу на величину  $\Delta t$ .

За умови

$$P_i(t + \Delta t) = P_{oi}(t)$$

імовірності появи заданого стану АТ або системи в реальних умовах експлуатації будуть відповідати їх розрахунковим значенням і прийнятним обмеженням. За наробітку АТ в  $i$ -х і  $j$ -х умовах експлуатації з рівняння (1) випливає, що задане обмеження  $P_n(t_o)$  буде досягнуто за наробітків  $t_i$  і  $t_j$  відповідно. Звідки випливає, що відносно розрахункових умов експлуатації  $j$ -ті умови більш важкі, а  $i$ -ті більш легкі.

Значенню параметра оптимізації  $P_n(t_o)$  за наробітку  $t_o$  відповідає фактичний наробіток у  $j$ -х умовах  $t_j$ , а в  $i$ -х умовах  $t_i$ .

Тоді

$$\Delta t = t_o - t_j$$

становить випередження наробітку, а

$$\Delta t = t_o - t_i$$

відставання наробітку в  $j$ -х і  $i$ -х умовах експлуатації відповідно до розрахункових. Визначивши для кожних  $i$ -х умов експлуатації розподіл  $\tilde{y}_i(t)$ , фактичний наробіток будь-яких виробів у реальних умовах експлуатації знаходять так:

$$\tilde{y}_o(t) = \tilde{y}_i(t + \Delta t)$$

за монотонного зростання (спадання)  $\tilde{y}$  параметра або з рівності:

$$\int_0^t \tilde{y}_o(t) dt = \int_0^{t+\Delta t} \tilde{y}_i(t) dt$$

у разі поліекстремальної зміни  $\tilde{y}(t)$ .

Однак метод статистичної оцінки умов експлуатації за змінами параметрів оптимізації має певні недоліки. Для побудови регресійної моделі необхідна велика кількість (30–50) спостережень параметра оптимізації, що з огляду на високу надійність сучасної АТ можливо в разі великого сумарного наробітку парку літаків певного типу, і отже, статистична модель у більшості випадків забезпечує підтвердження існуючих режимів ТОіР, а не їх формування. Побудова розподілу  $\tilde{y}_i(t)$  для кожних  $i$ -х умов експлуатації практично можлива за наявності в авіакомпанії не менше 30–50 літаків даного типу через інтервали наробітку 1–1,5 тисячі льотних годин, що забезпечує необхідний обсяг статистичної інформації про параметр  $\tilde{y}_i$  тільки до моменту відпрацьовування окремим літаком призначеного ресурсу.

Наприклад, за параметром потоку несправностей агрегату (вузла), відмова якого призводить до ускладнення умов польоту, якщо парк літаків становить 50 одиниць, а наробіток кожного з них за рік – 2000 льотних годин, з позиції норм льотної придатності літаків припустима поява 2–3 несправностей за рік. Але для більшості комплектуючих літака з імовірністю  $10^{-5}$ – $10^{-9}$  (1/год) поява несправностей в експлуатації не допускається, тобто статистична модель безпосередньо для цих комплектуючих літака з необхідною вірогідністю побудована бути не може.

У цьому випадку можна виконати непряму оцінку впливів умов експлуатації на технічний стан літаків цього типу, якщо є літаки іншого типу або елементи функціональних систем інших літаків, які припустимо розглядати як аналоги або індикатори за умовами експлуатації і для яких є необхідна інформація для побудови статистичної моделі.

Таким чином, статистична оцінка умов експлуатації дає змогу формувати режими ТОіР для АТ, відмови і несправності яких безпосередньо не впливають на безпеку польотів, і відповідно є достатня кількість відмов і несправностей, які спостерігаються в експлуатації.

Один із методів експлуатації таких виробів – експлуатація до безпечної відмови – ТЕО [4]. Застосування методу ТЕО потребує періодичної оцінки і контролю надійності АТ у процесі експлуатації, за результатами яких приймаються альтернативні рішення про продовження або припинення експлуатації, проведення доробок, ремонту або профілактики.

Оскільки обсяги і періодичність робіт з ТОіР комплектуючих літаків зазвичай плануються до виконання відповідно до наробітку планера в льотних годинах або польотах, оцінку надійності комплектуючих літака потрібно виконувати в тій самій розмірності також і відносно наробітку планера літака.

Інтенсивність зміни технічного стану АТ значною мірою визначається умовами експлуатації, які включають множину експлуатаційних факторів (параметри польоту, навантаження, режими роботи, кліматичні умови тощо), причому для конкретного екземпляра АТ основними є один або декілька експлуатаційних факторів.

Статистичну оцінку надійності комплектуючих АТ у процесі експлуатації виконують за таких обмежень:

– мала кількість відмов у заданий період експлуатації (місяць, квартал) унаслідок обмеженої кількості парку літаків, їх високої надійності;

– неоднорідність результатів спостережень унаслідок розбіжностей в умовах експлуатації літаків.

Оцінки параметрів надійності АТ, визначені статистичними методами без урахування зазначених обмежень, не мають достатніх рівнів вірогідності й адекватності, які потрібні для впровадження методу ТЕО для АТ.

Для оперативної оцінки надійності АТ у разі впровадження методу ТЕО пропонується нормувати умови експлуатації відносно довірливо обраних еталонних умов експлуатації літаків. У цьому випадку наробіток АТ буде обчислюватися відносно еквівалентного наробітку літака в еталонних умовах експлуатації, що забезпечує однорідність вибірки відмов АТ для всіх літаків даного типу.

Рівень впливу умов експлуатації на АТ доцільно обчислювати щодо типових чи середньостатистичних умов експлуатації, що полегшує подальший аналіз отриманих результатів.

У загальному випадку зведення результатів спостережень відмов АТ до еталонних умов експлуатації й оцінки параметрів надійності виробів рекомендується робити в такій послідовності:

- 1) визначити критерій технічного стану АТ і виділити основні функціональні експлуатаційні фактори, які діють на АТ у процесі експлуатації;
- 2) визначити умови експлуатації кожного екземпляра літака парку (чи групи літаків) і вибрати еталонні (типові) умови експлуатації виробів даного типу;
- 3) визначити зв'язок (функціональний чи стохастичний) значень критерію технічного стану АТ зі значеннями експлуатаційних факторів;
- 4) виконати нормування відносної зміни критерію технічного стану АТ  $\delta_i$  щодо еталонних умов експлуатації:

$$\delta_i = \frac{s_i}{\bar{s}},$$

де  $s_i$  – величина зміни критерію за одиницю наробітку АТ у  $i$ -х умовах експлуатації;  $\bar{s}$  – величина зміни критерію за одиницю наробітку АТ в еталонних умовах експлуатації;

- 5) статистичну інформацію про відмови АТ перерахувати за наробітком планера щодо довірливих умов експлуатації літака стосовно до типових:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \delta_i,$$

де  $T$  – наробіток АТ, зведений до еталонних умов експлуатації;  $n$  – кількість змін умов експлуатації за період експлуатації АТ;  $T_i$  – наробіток АТ в  $i$ -х умовах експлуатації;

- 6) визначити параметри надійності виробів щодо еталонних умов експлуатації АТ.

Результати оцінки надійності АТ щодо еталонних умов експлуатації є вихідною інформацією для реалізації методу ТЕО.

Наприклад, несиллові елементи конструкції планера (обшивка негерметичних частин, закінцівки, обтічники тощо) можна експлуатувати до безпечної відмови.

Основний вид відмов (несправностей) цих елементів – тріщини втомленості.

Наявність тріщиноутомленості характеризує технічний стан елементів, тобто є критерієм технічного стану.

Закономірності розвитку тріщин утомленості визначаються інтенсивністю накопичення втомленої пошкоджуваності і можуть бути розраховані для різних умов експлуатації різних конструктивних елементів відомими методами.

Для комплектуючих літаків, які безпосередньо впливають на безпеку польотів, статистичну модель оцінки умов експлуатації використовують для експериментального підтвердження діючих в експлуатації режимів ТОіР, формування яких було зроблено на іншій методологічній основі на етапах проектування, випробувань і освоєння експлуатації цих літаків за браком достатнього досвіду їх експлуатації.

Розглянемо статистичну оцінку умов експлуатації для планера літаків цивільної авіації.

Умови навантаження елементів конструкції планера визначаються параметрами льотної експлуатації літака.

Під час дослідження впливу умов експлуатації літаків на зміну надійності конструктивних елементів планера і механічних систем з метою формування раціональних режимів ТОіР необхідно визначити закони розподілу і його параметри для значущих факторів льотної експлуатації кожного літака парку.

Дослідження умов експлуатації літаків, як правило, показують статистичну стійкість значень параметрів польоту для всіх літаків, що належать одній авіакомпанії.

З огляду на некорельованість основних параметрів польоту літаків необхідно проводити обробку інформації про параметри польотів у всіх аеропортах базування.

Отже, система збору й обробки інформації про умови льотної експлуатації літаків повинна забезпечувати досить достовірну оцінку параметрів розподілів факторів льотної експлуатації за всіма аеропортами базування літаків за мінімуму потрібної вхідної інформації.

За деякими оцінками сторінка подібної інформації може коштувати 5–10 доларів США, що потребує для всього парку АТ великих витрат [4].

Для їх зменшення пропонується наближена оцінка параметрів типового польоту парку літаків у цілому і за аеропортами базування.

Розглядаючи парк літаків як однорідну сукупність, необхідну точність оцінок математичного сподівання для кожного параметра польоту можна визначити з нерівності Чебишова:

$$P(|x - M(x)| \geq t\sigma) < \frac{1}{t^2}.$$

Задаючи 5 %-не припустиме відхилення оцінки математичного сподівання від його істинного значення, що забезпечує необхідну вірогідність формованих режимів ТОіР елементів конструкції планера і механічних систем, для оцінок параметрів польоту  $j$ -го літака за  $i$ -м маршрутом, що обслуговується літаками певної авіакомпанії, справедливі співвідношення:

$$t_{ij} \approx \bar{t}_i; H_{ij} \approx \bar{H}_i; G_{\Pi ij} \approx \bar{G}_{\Pi i}; G_{\text{ком}ij} \approx \bar{G}_{\text{ком}i}, \quad (2)$$

де  $\bar{t}_i$ ;  $\bar{H}_i$ ;  $\bar{G}_{\Pi i}$ ;  $\bar{G}_{\text{ком}i}$  – оцінки математичного сподівання тривалості і висоти польоту, маси палива і комерційного завантаження під час польоту по  $i$ -му маршруту.

За такого рівня значущості можна припустити, що маса спорядженого літака певної модифікації і годинна витрата палива за однакових режимів роботи двигунів незмінні для всіх літаків:

$$G_{\text{сп},j} = G_{\text{сп}};$$

$$G_{\Pi/r,j} = G_{\Pi/r},$$

$$j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

У плановій звітності кожної авіакомпанії, як правило, міститься така статистична інформація:

- наробіток кожного літака (у годинах і польотах) за місяць і з початку експлуатації;
- кількість пасажирів і вантажу, перевезених кожним літаком за місяць і з початку експлуатації;
- сумарний наробіток літаків певного типу в авіакомпанії;
- обліковий парк літаків певного типу в авіакомпанії;
- сумарний наліт парку літаків за квартал.

Крім того, з розкладів польотів може бути отримана така інформація:

- маршрути польотів і їх довжина;
- частота польотів літаків певного типу по кожному маршруту.

Отже, для розрахунку оцінок параметрів типового польоту літаків у кожній авіакомпанії необхідний разовий збір інформації для одержання співвідношень (2). Додаткові дані можна отримати в кожній авіакомпанії із завдання на політ для кожного  $i$ -го маршруту, окремо для кожного розкладу польотів (здебільшого для літнього і зимового розкладів).

При цьому враховується відносна стійкість параметрів польоту в межах сезонного розкладу, що визначає інтенсивність використання парку літаків у кожній авіакомпанії.

Алгоритм розрахунку оцінок параметрів типового польоту такий.

1. З авіакомпаній збирають інформацію для розрахунку оцінок середніх  $\bar{t}_i$ ,  $\bar{H}_i$ ,  $\bar{G}_{\Pi i}$ ,  $\bar{G}_{\text{ком}i}$  для кожного маршруту.

2. За розкладом польотів розраховують коефіцієнти сезонних коливань:

$$a_{i\text{л}} = \frac{K_{i\text{л}}}{K_i};$$

$$a_{i\text{з}} = \frac{K_{i\text{з}}}{K_i},$$

де  $K_i = K_{i\text{л}} + K_{i\text{з}}$ ;  $K_{i\text{л}}$ ,  $K_{i\text{з}}$  – кількість польотів по  $i$ -му маршруту за місяць за літнім і зимовим розкладами відповідно.

3. Визначають відносні подробиці польотів по  $i$ -му маршруту:

$$P_i = \frac{K_i}{\sum_i K_i}, \quad i = \overline{1, n},$$

де  $n$  – кількість маршрутів у даній авіакомпанії.

4. Визначають середньозважені оцінки середніх по  $i$ -му маршруту:

$$\bar{t} = \bar{t}_{i\text{з}} a_{i\text{з}} + \bar{t}_{i\text{л}} a_{i\text{л}}.$$

5. Визначають оцінки математичного сподівання і  $\sigma^2$  параметрів польоту в кожній авіакомпанії, наприклад:

$$M(t) = \sum_{i=1}^n \bar{t}_i P_i;$$

$$\sigma^2(t) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\bar{t}_i - M(t)]^2. \quad (4)$$

У зазначеній послідовності визначають:

- тривалість типового польоту;
- висоту типового польоту;
- масу палива під час зльоту;
- масу комерційного завантаження.

6. Для розрахунку оцінок параметрів розподілів типової злітної і посадкової маси використовують формулу:

$$G_{\text{зл}} = G_{\text{сп}} + G_{\Pi} + G_{\text{ком}} - \Delta G.$$

З огляду на рівняння (3), і покладаючи  $\Delta G = \text{const}$ , оцінки середніх відповідно до їх властивостей одержимо з виразів:

$$M(G_{\text{зл}}) = G_{\text{сп}} + M(G_{\Pi}) + M(G_{\text{ком}}) - \Delta G,$$

а оцінки  $\sigma^2$  – з виразу (4).

Оцінки математичного сподівання деяких додаткових параметрів типового польоту:

- довжина типового маршруту

$$M(L) = \sum_{i=1}^n L_i P_i;$$

– швидкість типового польоту

$$M(V) = \frac{M(L)}{M(t)}$$

7. За отриманими оцінками математичного сподівання розраховують сумарні статистичні показники експлуатації парку літаків в авіакомпанії за визначений період:

– сумарний наробіток

$$T_{\Sigma} = M(t)N;$$

– сумарну масу комерційного завантаження

$$G_{\text{ком}\Sigma} = M(G_{\text{ком}})N,$$

де  $N$  – кількість польотів за визначений період

$$N = \sum_{i=1}^n K_i.$$

Значення  $T_{\Sigma}$  і  $G_{\text{ком}\Sigma}$  порівнюють зі звітними даними авіакомпаній. Якщо розбіжність менша за 3–5 %, визначення оцінок математичного сподівання в подальших спостереженнях з метою виявлення динаміки зміни параметрів типового польоту за роками експлуатації спрощується

$$M(t) = \frac{T}{N};$$

$$M(L) = \frac{L_n}{N};$$

$$M(V) = \frac{M(L)}{M(T)}$$

$$M(G_{\text{ком}}) = \frac{G_{\text{ком}}}{N},$$

де  $T$ ,  $N$ ,  $L_n$ ,  $G_{\text{ком}}$  – зі звітних даних авіакомпаній.

Розподіл кожного параметра польоту для усього парку літаків розглядають як розподіл випадкової величини  $M_i$  за всіма аеропортами і оцінки

параметрів типового польоту знаходять з виразів, аналогічних рівнянням (4). При цьому необхідно заздалегідь переконатися в однорідності ряду дисперсій  $\sigma^2_i$  кожного  $i$ -го параметра за всіма аеропортами, наприклад, за  $G$  чи  $B$  критерієм.

Гіпотези про перевірку розподілу  $i$ -го параметра для кожної авіакомпанії або всього парку перевіряють за критеріями згоди залежно від обсягу вибірки.

### Висновок

Розглянутий принцип збору й обробки інформації про умови експлуатації літаків може бути використаний не тільки для оцінки параметрів типового польоту, але й для інших експлуатаційних факторів, що визначають зміну технічного стану планера, систем і устаткування літаків у процесі експлуатації.

### Література

1. *Larry W. Reithmaier Aircraft Maintenance Chemicals and Materials AMS Handbook*. – 1997. – Edition. – 724 p.
2. *Michael J. Kroes, William A. Watkins (Contributor), Frank Delp (Contributor). Aircraft Maintenance & Repair (Aviation Technology)*. McGraw Hill. Paperback – 648 p. – 6th edition. 1993, Glencoe.
3. *Хартли А.* Статистика / Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 310 с.
4. *Douglas S. Carmody Airplane Maintenance and Repair: A Manual for Owners, Builders, Technicians, and Pilots*. 70 edition. McGraw. – Hill, 1998. – Paperback. – 346 p.

Стаття надійшла до редакції 19.05.05.

Боузаиенне Мекки бен Салем (Туніс)

Статистическая оценка условий эксплуатации авиационной техники

Рассмотрен вопрос оценки условий эксплуатации авиационной техники в авиакомпаниях с использованием статистических методов при анализе соответствия программ по техническому обслуживанию парка воздушных судов нормативным требованиям.

Bouzaienne Makki ben Salem (Tunis)

Statistical estimation of aircraft service conditions

The question of an estimation of aircraft service conditions in airlines with use of statistical methods is considered at the analysis of maintenance programs of a aircrafts park to normative requirements.