

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОВТ

УДК 629.735.33.07:62-192(087.23)

Л.О. Новгородська<sup>1</sup>, С.В. Парахін<sup>2</sup>, Р.Г. Шабан<sup>2</sup>, Е.В. Лучук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Секція прикладних проблем Президії НАН України, Київ

<sup>2</sup>Державний науково-випробувальний центр ЗСУ, Феодосія

<sup>3</sup>Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

### ОЦІНКА ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗА ЧАСОМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті проведена оцінка тенденції зміни показників надійності авіаційної техніки за часом експлуатації. Аналіз тенденції зміни показників надійності авіаційної техніки дозволив зробити висновки про те, що зменшення середнього нальоту на несправність викликано зменшенням рівня надійності конструкції і не пов'язано зі зменшенням нальоту.

**Ключові слова:** надійність авіаційної техніки, середній наліт на несправність.

#### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз тенденції зміни показників надійності авіаційної техніки за часом експлуатації є стандартним завданням інженерно-статистичного аналізу надійності авіаційної техніки. Однак, зміни умов експлуатації суттєво впливають на показники надійності, внаслідок чого при аналізі їх змін можуть бути зроблені невірні висновки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методика аналізу зміни показників надійності приведена в [1, 2, 3].

Для одного типу літаків, що знаходиться на озброєнні, за період з 1987 по 2000 роки отримані середні значення нальоту на несправність  $T_{ci}$ , кількості несправностей  $\omega_i$  та нальоту  $t_i$ , які наведені в табл. 1.

Показники розраховані за формулами:

$$T_{ci} = \frac{t_{\sum i}}{m_{\sum i}}, \quad (1)$$

$$\omega_i = \frac{m_i}{N_i}, \quad (2)$$

$$t_i = \frac{t_{\sum i}}{N_i}, \quad (3)$$

де  $\omega_i$  – середня кількість несправностей літаків з  $i$ -тим терміном служби;  $t_i$  – середній наліт літаків з  $i$ -тим терміном служби;  $T_{ci}$  – напрацювання на одну несправність літаків з  $i$ -тим терміном служби;  $m_i$  – кількість несправностей літаків з  $i$ -тим терміном служби;  $t_{\sum i}$  – підсумковий наліт літаків з  $i$ -тим терміном служби;  $N_i$  – кількість літаків з  $i$ -тим терміном служби;  $m_{\sum i}$  – підсумкова кількість несправностей літаків з  $i$ -тим терміном служби.

Як видно з табл. 1, середні значення нальоту на несправність зменшуються після 13 років експлуатації, при цьому у той же час спостерігається зменшення нальоту.

Таблиця 1

Розподіл середніх значень нальоту на несправність,  
кількості несправностей та нальоту за терміном служби літаків

Показники	Термін служби літаків, роки													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
середній наліт на несправність $T_{ci}$ , год.	4,2	6,3	5,9	4,4	5,0	4,9	3,3	5,2	4,1	1,5	1,0	0,5	0,9	0,6
середня кількість несправностей $\omega_i$	2,1	1,4	1,5	2,0	1,7	1,8	2,7	1,7	1,1	1,3	2,0	1,8	2,0	1,5
середній наліт $t_i$ , год.	10,3	9,8	7,6	7,9	8,5	5,3	6,3	8,0	4,5	2,0	1,9	0,7	1,8	0,7

**Мета статті** – визначити зменшення середнього нальоту на несправність, викликане зменшенням рівня надійності конструкції, чи це пов'язано зі зменшенням нальоту літаків?

### Виклад основного матеріалу

Оцінки середніх значень нальоту на несправність є випадковими величинами, які розраховані при обмеженій виборці, і можуть відрізнятися від значень параметрів генеральних сукупностей, до яких вони належать. Тому неможливо порівнювати рівні надійності груп літальних апаратів (ЛА) безпосередньо за числовими значеннями оцінок і на підставі цього судити про зміну надійності.

Перевіримо отримані оцінки середніх значень нальоту на несправність на однорідність за допомогою критерію Пірсона, який розраховується за формулою:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\omega_i - a \cdot t_i)^2}{a \cdot t_i}, \quad (4)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i}{\sum_{i=1}^n t_i}. \quad (5)$$

У нашому випадку  $a = 0,33$ ,  $\chi_{роз}^2 = 40$ .

Порівняємо розраховане значення критерію  $\chi_{роз}^2$  з табличним. Табличне значення критерію  $\chi_{таб}^2 = 22,4$  при рівні довіри 0,95 та ступені вільності  $k = n - 1 = 13$ .

Через те, що  $\chi_{роз}^2 > \chi_{таб}^2$ , оцінки середніх значень нальоту на несправність є неоднорідні. У цьому випадку необхідно визначити однорідні підгрупи, і тоді для кожної підгрупи можливо визначити середні значення нальоту на несправність, після чого виконати порівняння.

За статистичними даними можливо виділити декілька підгруп оцінок  $T_c$ . Однак, для простоти визначимо найбільш виражені дві підгрупи:

перша – термін служби від 4 до 12 років;

друга – термін служби від 13 до 17 років.

Перевіримо їх на однорідність.

Для першої підгрупи показники складають:

$T_{cI} = 4,8$  год.,  $a_I = 0,23$ ,  $\chi_{розI}^2 = 1,8$ ; для другої –

$T_{cII} = 0,9$  год.;  $a_{II} = 1,21$ ;  $\chi_{розII}^2 = 2,1$ .

Табличні значення критерію для першої підгрупи  $\chi_{табI}^2 = 16,9$  при рівні довіри 0,95 та ступені вільності  $k = n - 1 = 8$ ; для другої підгрупи –  $\chi_{табII}^2 = 11,1$  при рівні довіри 0,95 та ступені вільності  $k = n - 1 = 4$ .

Через те, що  $\chi_{розI}^2 < \chi_{табI}^2$ ,  $\chi_{розII}^2 < \chi_{табII}^2$ , то оцінки в першій та другій підгрупах однорідні.

Як видно, середнє значення показника  $T_{cI}$  для першої підгрупи суттєво більше середнього значення  $T_{cII}$  для другої підгрупи. При цьому для другої підгрупи наліт значно менший (табл. 1). Середні значення нальоту:

для першої підгрупи  $t_I = 7,6$  год;

для другої підгрупи  $t_{II} = 1,4$  год.

Проаналізуємо вплив зміни нальоту на зміну середнього нальоту на несправність.

Розрахуємо загальне середнє значення показника  $T_c$ :

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^{13} T_{ci}}{14} = 3,4. \quad (6)$$

Окремі середні значення показників  $T_{cI}$ ,  $T_{cII}$  характеризують середні значення показника  $T_c$  у залежності від нальоту  $t_I$  і  $t_{II}$ .

Отримані окремі середні значення суттєво відрізняються. Оцінимо значимість цих відмінностей. Для цього розраховані показники варіювання як для окремих значень  $T_c$ , так і для окремих середніх навколо загального середнього значення, які приведені у табл. 2.

Таблиця 2

#### Порівняльні значення показників варіювання

$T_{ci}$	$T_{ci} - T_c$	$(T_{ci} - T_c)^2$
4,2	0,8	0,64
6,3	2,9	8,41
5,9	2,5	6,25
4,4	1,0	1,0
5,0	1,6	2,56
4,9	1,5	2,25
3,3	-0,1	0,01
5,2	1,8	3,24
4,1	0,7	0,49
1,5	-1,9	3,61
1,0	-2,4	5,76
0,5	-2,9	8,41
0,9	-2,5	6,25
0,6	-2,8	7,84
$\sum T_{ci} = 47,8$		$\sum (T_{ci} - T_c)^2 = 56,72$

Розрахуємо середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ , яке характеризує ступінь варіювання  $T_c$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_{ci} - T_c)^2} = 2,1. \quad (7)$$

Одночасно з середнім квадратичним відхиленням  $\sigma$  будемо використовувати й іншу міру варіювання – девіату  $\delta$ :

$$\delta = \frac{(T_{ci} - T_c)^2}{n} = 4,051. \quad (8)$$

Для того, щоб розчленувати загальний ефект на складові компоненти та виділити ту частину варіювання, яка викликана інтенсивністю нальоту, розрахуємо девіату  $\delta_a$ :

$$\delta_a = \frac{(T_{cI} - T_c)^2 + (T_{cII} - T_c)^2}{a} = 4,105. \quad (9)$$

Вона характеризує коливання двох окремих середніх  $T_{cI}$ ,  $T_{cII}$  близько загального середнього  $T_c$ . Число ступенів вільності  $k_a$  варіювання цих двох окремих середніх біля загального середнього є:  $k_a = a - 1 = 2 - 1 = 1$ .

Використовуючи девіати  $\delta$  і  $\delta_a$ , а не середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ , можливо розрахувати міру коливання  $\delta_0$  значень  $T_{ci}$  під впливом інших випадкових факторів:  $\delta_0 = \delta - \delta_a = 4,105 - 4,051 = 0,054$ .

Число ступенів вільності випадкового варіювання  $k_0$  можливо отримати так:  $k_0 = n - a = 14 - 2 = 12$ .

Оцінимо вірогідність відмінностей між окремими середніми  $T_{cI}$ ,  $T_{cII}$  за допомогою критерію Фішера:

$$F = \frac{\delta_a \cdot k_0}{\delta_0 \cdot k_a} = 12,16. \quad (10)$$

Розраховане значення порівняємо з табличним при ступенях вільності  $k_I = k_a$  і  $k_{II} = k_0$ . Оскільки  $F_{роз} > F_{таб} 0,99$ , то вплив зміни інтенсивності нальоту на показник  $T_c$  є суттєвим з імовірністю 0,95.

Для порівняння оцінок  $T_{cI}$  з оцінками  $T_{cII}$  необхідно умови, за яких отримані оцінки першої

підгрупи, привести до умов другої підгрупи. Для цього, відповідно [4], необхідно для кожної підгрупи скласти рівняння регресії та розрахувати їх параметри.

Рівняння регресії для першої та другої підгруп має вигляд:

$$\omega_k(t) = \omega_{0k} + a_k \cdot (t - t_k). \quad (11)$$

Параметри рівнянь регресії розраховуються стандартними методами регресійного аналізу за формулою

$$a_k = \frac{\sum_{i=1}^n (\omega_i - \omega_k)(t_i - t_k)}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_k)^2}. \quad (12)$$

Розрахований коефіцієнт  $a_I = 0,023$ ; вільний член  $\omega_{0I} = \omega_I - a_I \cdot t_I = 1,8 - 0,023 \cdot 7,6 = 1,6$ . Тоді рівняння лінійної регресії для першої підгрупи буде:

$$\omega_I(t) = 1,6 + 0,023 \cdot (t - 7,6). \quad (13)$$

Розрахований коефіцієнт  $a_{II} = 0,05$ ; вільний член  $\omega_{0II} = \omega_{II} - a_{II} \cdot t_{II} = 1,72 - 0,05 \cdot 1,4 = 1,65$ . Тоді рівняння регресії для другої підгрупи буде:

$$\omega_{II}(t) = 1,65 + 0,05 \cdot (t - 1,4). \quad (14)$$

Для зведення умов першої підгрупи з умовами другої підгрупи підставимо значення інтенсивності нальоту з другої підгрупи в рівняння регресії першої підгрупи:

$$\omega_z = 1,6 + 0,023 \cdot (1,4 - 7,6) = 1,5. \quad (15)$$

Тоді зведене значення показника  $T_{cz}$  буде:

$$T_{cz} = \frac{t_{II}}{\omega_z} = 0,9. \quad (16)$$

Як видно з приведених розрахунків, зведений показник першої підгрупи  $T_{cz}$  має значення, близьке до середнього значення показника другої підгрупи ( $T_{cII} = 0,9$ ).

## Висновки

Таким чином, зменшення середнього нальоту на несправність викликано зменшенням рівня надійності конструкції і не пов'язано зі зменшенням нальоту літаків; зменшення рівня надійності літаків настає після 13 років експлуатації.

## Список літератури

1. Антонов А.В. Системный анализ / А.В. Антонов – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
2. Могилевский В.Д. Методология систем / В.Д. Могилевский – М.: Экономика, 1999. – 251 с.
3. Тарасович Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. – М.: УРСС, 2004. – 148 с.

4. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; Под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

Надійшла до редакції 27.08.2009 р.

**Рецензент:** доктор технічних наук., старший науковий співробітник В.М. Корольов, Академія сухопутних військ, Львів.

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ПО ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Л.О. Новгородская, С.В. Парахин, Р.Г. Шабан, Э.В. Лучук

*В статье проведена оценка тенденции изменения показателей надежности авиационной техники по времени эксплуатации. Анализ тенденции изменения показателей надежности авиационной техники позволил сделать выводы о том, что уменьшение среднего налета на неисправность вызвано уменьшением уровня надежности конструкции и не связано с уменьшением налета.*

**Ключевые слова:** надежность авиационной техники, средний налет на неисправность.

## ESTIMATION OF INDEXES VARIATING OF AEROTECHNICS RELIABILITY AT TIMES OF EXPLOITATION

L.O. Novhorodska, S.V. Parakhin, R.G. Shaban, E.V. Luchuk

*In the article the estimation of indexes variating tendency of aircraft reliability at times of exploitation is conducted. The analysis of indexes variating tendency of aircraft reliability at times of exploitation allowed to draw a conclusion that diminishing of average flight time preceding disrepair is caused by diminishing of construction reliability level and isn't bound with diminishing of flight time.*

**Keywords:** reliability of aircraft, average flight time preceding disrepair.

УДК 62.001.57:517.3

А.О. Левченко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

## ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ЩІЛЬНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ШЛЯХОМ КУСКОВО-ЛІНІЙНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

*Наведено спосіб кусково-лінійної апроксимації розв'язання лінійного інтегрального рівняння типу згортки. Наведено оцінку похибки відновлення моделі.*

**Ключові слова:** зміна стану, дрейф параметра, напівнатурне моделювання, інтегральне рівняння, метод трапецій, емпіричні функції розподілу, апроксимація невідомої залежності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Застосування інформаційних технологій у системах технічного забезпечення експлуатації складних технічних систем (СТС), пов'язане із застосуванням інформаційних вимірювальних систем (ІВС), з

метою отримання числових значень параметрів, що контролюються, та систем підтримки прийняття рішень з прогнозуванням для ідентифікації виду стану об'єктів контролю (ОК) з необхідною достовірністю, обробки цифрової вимірювальної інформації про параметри ОК з необхідною точністю, накопичення інформації про зміну стану