

УДК 656.7.071: 656.7.052.002.5 (045)

Заліський М.Ю.,
Німич В.В.,
Соломенцев О.В., д-р техн. наук
Яшанов І.М.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ В АВІАЦІЇ

Інститут аеронавігації
Національного авіаційного університету

Наведено аналітичні співвідношення для розрахунку результативності та ефективності функціонування систем експлуатації технічних комплексів в авіації

Вступ

Підвищення матеріального і культурного рівня життя потребує соціально-економічного розвитку суспільства та підвищення ефективності виробництва на базі науково-технічного прогресу, спрямованих на підвищення якості функціонування техніки та надання послуг. Одним з шляхів підвищення якості функціонування техніки та надання послуг є широке впровадження нових прогресивних технологічних процесів та систем управління цими процесами, розроблених на основі міжнародних стандартів *ISO* серії 9000 [1, 2].

Результативність та ефективність технічних комплексів забезпечує система їх експлуатації. Традиційно системи експлуатації (СЕ) в цивільній авіації виконують значний обсяг робіт з використання за призначенням, технічного обслуговування, ремонту, продовження ресурсу, а об'єктом експлуатації є технічні комплекси.

У процесі застосування СЕ можливі випадки невідповідності параметрів її елементів встановленим вимогам. При цьому знижується результативність та ефективність СЕ, а також технічних комплексів. Невідповідності можуть мати явний або прихований характер, тому своєчасне виявлення їх в СЕ зменшує витрати в процесі експлуатації технічних комплексів в авіації.

Застосування нових методів управління в СЕ дозволить одержати конкурентні переваги на ринку послуг, поліпшити

якість надання послуг і підвищити задоволеність споживачів.

Практична реалізація впровадження нових методів управління може бути здійснена за допомогою підсистеми забезпечення результативності та ефективності (ПЗРЕ) системи експлуатації технічних комплексів, що функціонують на основі принципів та положень міжнародних стандартів *ISO* серії 9000.

Для теорії та практики експлуатації технічних комплексів звернення уваги до СЕ в цілому та її складових є перспективним напрямком, що безпосередньо пов'язаний з безпекою та регулярністю польотів, економічною ефективністю роботи підприємств.

Постановка завдання

Аналіз літератури [3 - 9] у сфері розробки та модернізації СЕ авіаційних технічних комплексів (ТК) та їх ПЗРЕ показав, що питання оцінки результативності та ефективності функціонування цих систем не знайшли відповідного відображення. У наслідок цього мають місце зайві витрати матеріальних та часових ресурсів, процеси в СЕ недостатньо контрольовані та керовані, знижується рівень задоволеності споживачів тощо.

Тому актуальною задачею є обґрунтування використання ПЗРЕ в СЕ ТК в авіації шляхом отримання аналітичних співвідношень, що дозволяють кількісно оцінювати результативність та ефективність СЕ при наявності ПЗРЕ.

Основна частина

Як відомо, основними складовими СЕ ТК є: сукупність вхідного потоку заявок, що підлягають обслуговуванню; технологічні процеси (використання за призначенням, технічного обслуговування та ремонту, діагностування, контролю технічного стану, зберігання, транспортування тощо); потік вихідних заявок; персонал; засоби експлуатації; нормативна та розпорядча документація; ресурсне забезпечення. Ці основні та інші елементи СЕ є об'єктами для оцінки відповідності встановленим вимогам, що проводиться в ПЗРЕ. До складу ПЗРЕ можна віднести такі комплекси: оцінки відповідності, діагностування, прийняття рішень, формування та виконання корегувальних і попереджувальних дій, прогнозування стану елементів тощо. Далі розглянемо комплекс з оцінки відповідності (ОВ).

Вважаємо, що результативність СЕ оцінює ступінь досягнення цілей, пов'язаних з виконанням певної сукупності завдань, і визначається як відношення фактичної міри виконання завдань до рівня міри, встановленого вимогами. Ефективність функціонування СЕ ТК стосується оцінки використання ресурсів системи для досягнення поставлених завдань.

Розглянемо задачу оцінки результативності та ефективності СЕ без використання та з використанням ПЗРЕ при застосуванні декількох стратегій оцінки відповідності встановленим вимогам (витратами на створення ПЗРЕ знехтуємо). Припустимо, що СЕ складається із N елементів, кожен з яких може перебувати у одному з двох станів: справний та несправний (або з відповідністю встановленим вимогам або без відповідності). Нехай у поточний момент контролю в системі є об'єктивно n несправних елементів ($0 \leq n \leq N$). Припустимо, що під час контролю нові несправності виникати не можуть.

Витрати на ОВ кожного окремого елемента СЕ позначимо як Z , вони є рівними між собою.

Показник результативності ОВ всієї СЕ визначимо як:

$$Рез = \frac{m_1(n)}{T_{спост}},$$

де $m_1(n)$ – середнє число виявлених невідповідностей під час ОВ, $T_{спост}$ – інтервал спостереження (час проведення процедури ОВ).

Показник ефективності ОВ всієї СЕ визначимо як:

$$Еф = \frac{Рез}{Z_{\Sigma}},$$

де Z_{Σ} – сумарні затрати на ОВ елементів системи, що перевіряються.

Розглянемо випадок ОВ з використанням ПЗРЕ. Вважаємо, що за один інтервал ОВ Δt одночасно контролюються всі N елементів системи. Тоді час спостереження $T_{спост} = \Delta t$, а сумарні затрати $Z_{\Sigma} = 3N$. Якщо помилки в процесі ОВ відсутні, то будуть виявлені всі невідповідності в СЕ (тобто $m_1(n) = n$):

$$Рез(n, N, T_{спост} / з ПЗРЕ) = \frac{m_1(n)}{T_{спост}} = \frac{n}{\Delta t},$$

$$Еф(n, N, T_{спост}, Z_{\Sigma} / з ПЗРЕ) = \frac{Рез(n, N, T_{спост} / з ПЗРЕ)}{Z_{\Sigma}} = \frac{n}{\Delta t Z_{\Sigma}} = \frac{n}{\Delta t 3N}.$$

Розглянемо випадок ОВ без ПЗРЕ. Вважаємо, що за одну процедуру ОВ тривалістю Δt перевіряється M елементів, причому $N/M = k$, де k – додатне ціле число ($k > 1$). Всього виконуватиметься k процедур ОВ. Сумарна тривалість спостереження $T_{спост} = k\Delta t$.

Нехай перша стратегія 1 – елементи СЕ перевіряються таким чином, що за k процедур ОВ будуть перевірені послідовно всі N елементів.

Якщо помилки в процесі ОВ відсутні, тоді за k процедур будуть виявлені всі невідповідності в СЕ, тобто $m_1(n) = n$. Сумарні затрати становитимуть $Z_{\Sigma} = 3N$.

Результативність та ефективність функціонування СЕ при заданій стратегії:

$$\begin{aligned}
 \text{Рез}(n, N, T_{\text{спост}} / \text{без ПЗРЕ (стр1)}) &= \\
 &= \frac{m_1(n)}{T_{\text{спост}}} = \frac{n}{k\Delta t}, \\
 \text{Еф}(n, N, T_{\text{спост}}, Z_{\Sigma} / \text{без ПЗРЕ (стр1)}) &= \\
 &= \frac{\text{Рез}(n, N, T_{\text{спост}} / \text{без ПЗРЕ (стр1)})}{Z_{\Sigma}} = \\
 &= \frac{n}{k\Delta t Z_{\Sigma}} = \frac{n}{k\Delta t N Z}.
 \end{aligned}$$

Нехай стратегія 2 полягає у наступному: на кожному з k етапів ОБ випадковим чином перевіряється M елементів СЕ так, що сумарна кількість перевірених елементів є випадковою величиною в ін-

тервалі $[M; N]$. Тобто за час $T_{\text{спост}}$ кожен елемент СЕ може перевірятися будь-яку випадкову кількість раз – від 0 до k .

Стан системи при другій стратегії може бути описаний за допомогою графу (рис. 1), а визначення розрахункових формул здійснюється з використанням марківської моделі.

Поточний стан системи описується матрицею-рядком $p^{(i)}$, де $i = 0, k$. Початковий стан системи задамо як:

$$p^{(0)} = (1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0).$$

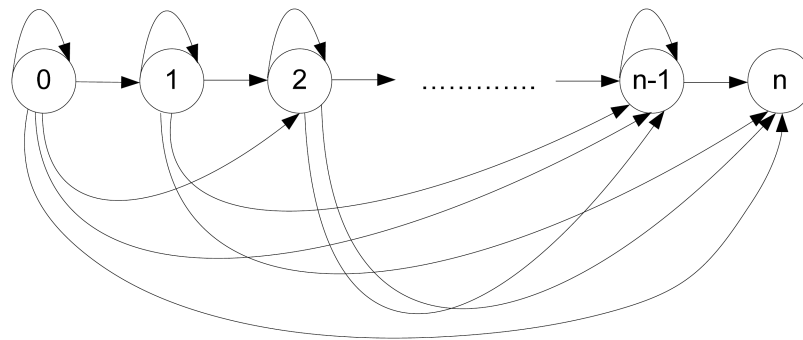


Рис. 1. Граф станів системи: стан 0 – не виявлено жодної несправності, стан 1 – виявлено 1 несправність, ..., стан n – виявлено n несправностей

Перехід системи в інший стан буде описуватися матрицею переходу A :

$$A = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \dots & P_{0n-1} & P_{0n} \\ 0 & P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n-1} & P_{1n} \\ 0 & 0 & P_{22} & \dots & P_{2n-1} & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{n-1n-1} & P_{n-1n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Тобто

$$p^{(i)} = Ap^{(i-1)}.$$

Для визначення безумовних ймовірностей, що входять до матриці переходу A , розглянемо задачу випадкового вибору M елементів із N , серед яких n елементів не відповідають вимогам.

Для випадку, коли $M > n$ ряд розподілу випадкової величини X – числа еле-

ментів з невідповідностями серед обраних, має вид:

$$\begin{aligned}
 P_N(0) &= \frac{(N-n)!(N-M)!}{N!(N-n-M)!}; \\
 P_N(1) &= nM \frac{(N-n)!(N-M)!}{N!(N-n-M+1)!}; \\
 &\dots \\
 P_N(i) &= \frac{n!(N-n)!M!(N-M)!}{i!(n-i)!(M-i)!N!(N-n-M+i)!}; \\
 &\dots \\
 P_N(n) &= \frac{(N-n)!M!}{(M-n)!N!}.
 \end{aligned}$$

Тепер можна визначити імовірності матриці переходу P_{ij} (для $i \leq j$):

$$P_{ij} = \frac{(n-i)!(N-n+i)!M!(N-M)!}{(j-i)!(n-j)!(M-j+i)!N!(N-n-M+j)!}.$$

Матриця фінальних ймовірностей в залежності від числа k перевірок має на-

ступний вид:

$$p_j^{(k)} = \sum_{r_{k-1}=0}^j \left[P_{0 r_{k-1}} \sum_{r_{k-2}=r_{k-1}}^j \left[P_{r_{k-1} r_{k-2}} \sum_{r_{k-3}=r_{k-2}}^j \left[P_{r_{k-2} r_{k-3}} \cdot \dots \cdot \sum_{r_1=r_2}^j (P_{r_2 r_1} P_{r_1 j}) \right] \right] \right], \text{ де } k \in \left[1, \frac{N}{M} - 1 \right].$$

Перевірка показала, що вирази для $P_{i j}$ та $p_j^{(k)}$ задовольняти умовам нормування, тобто відповідні суми дорівнюють одиниці.

$N = 90$ елементів, серед яких $n = 20$ з невідповідностями.

Математичне сподівання кількості виявлених невідповідностей становить:

Використовуючи формулу для фінальних ймовірностей, запишемо аналітичний вираз для ряду розподілу випадкової величини X :

$$m_1(n) = \sum_{j=0}^n j p_j^{(k)}.$$

$$p_j^{(3)} = \sum_{r_2=0}^j \left(P_{0 r_2} \sum_{r_1=r_2}^j (P_{r_2 r_1} P_{r_1 j}) \right).$$

Розглянемо приклад розрахунку математичного сподівання кількості виявлених невідповідностей для випадку трьох процедур оцінки відповідності ($k = 3$). Вважаємо, що система складається із

Визначивши всі значення ймовірностей $P_{i j}$ матриці переходу та підставивши їх у формулу для $p_j^{(3)}$, ряд розподілу може бути представлений у табл.

Таблиця. Ряд розподілу ймовірностей кількості виявлених невідповідностей

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$p_j^{(3)}$	0	0	0	0	0	0	0	0,0004	0,0018	0,0074	0,023
j	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
$p_j^{(3)}$	0,057	0,111	0,171	0,207	0,192	0,134	0,068	0,023	0,004	0,0004	

Дискретний ряд розподілу ймовірностей кількості виявлених невідповідно-

стей зображений на рис. 2.

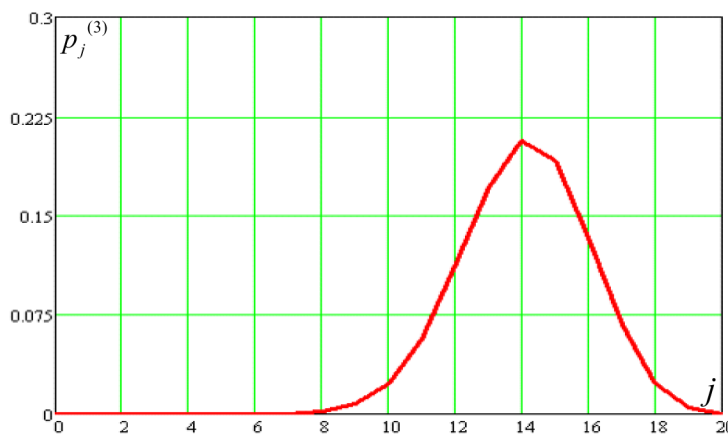


Рис. 2. Графічний вид ряду розподілу

Математичне сподівання становитиме:

У цьому випадку в середньому виявляється менше число невідповідностей, ніж при першій стратегії, а отже, ефективність першої стратегії буде вища, ніж у другої.

$$m_1(n) = \sum_{j=0}^n j p_j^{(3)} = 14,074.$$

Результативність та ефективність функціонування об'єкту при другій стратегії з урахуванням, що сумарні затрати $Z_{\Sigma} = 3N$, становить:

$$\begin{aligned} \text{Рез}(n, k, N, T_{\text{спост}} / \text{без ПЗРЕ (стр2)}) &= \\ &= \frac{m_1(n)}{T_{\text{спост}}} = \frac{\sum_{j=0}^n jP_j^{(k)}}{k\Delta t}, \\ \text{Еф}(n, k, N, T_{\text{спост}}, Z_{\Sigma} / \text{без ПЗРЕ (стр2)}) &= \\ &= \frac{\text{Рез}(n, k, N, T_{\text{спост}} / \text{без ПЗРЕ (стр2)})}{Z_{\Sigma}} = \\ &= \frac{\sum_{j=0}^n jP_j^{(k)}}{k\Delta t Z_{\Sigma}} = \frac{\sum_{j=0}^n jP_j^{(k)}}{k\Delta t N 3}. \end{aligned}$$

Як видно з наведених співвідношень, ефективність функціонування СЕ ТК в авіації при використанні ПЗРЕ перевищує обидві розглянуті окремо взяті стратегії при відсутності ПЗРЕ, тобто:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Еф}(n, N, T_{\text{спост}}, Z_{\Sigma} / \text{з ПЗРЕ})}{\text{Еф}(n, k, N, T_{\text{спост}}, Z_{\Sigma} / \text{без ПЗРЕ (стр1)})} &= \\ &= \frac{\frac{n}{\Delta t N 3}}{\frac{n}{k\Delta t N 3}} = k, \\ \frac{\text{Еф}(n, N, T_{\text{спост}}, Z_{\Sigma} / \text{з ПЗРЕ})}{\text{Еф}(n, k, N, T_{\text{спост}}, Z_{\Sigma} / \text{без ПЗРЕ (стр2)})} &= \\ &= \frac{\frac{n}{\Delta t N 3}}{\frac{\sum_{j=0}^n jP_j^{(k)}}{k\Delta t N 3}} = \frac{nk}{\sum_{j=0}^n jP_j^{(k)}}. \end{aligned}$$

Отже, наявність ПЗРЕ збільшує ефективність функціонування СЕ ТК в авіації рівно в k разів у порівнянні з першою стратегією та щонайменше в k разів у порівнянні з другою стратегією (оскільки $\sum_{j=0}^n jP_j^{(k)} \leq n$).

Висновки

Наведені аналітичні співвідношення для розрахунку результативності та ефек-

тивності СЕ авіаційних технічних комплексів можна розглядати як один з елементів методичного базису для вирішення задач розробки та модернізації СЕ ТК в авіації, систем менеджменту якості виробництва продукції та надання послуг тощо.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 9000:2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. Чинний від 2001–10–01.
2. ДСТУ ISO 9001:2001. Системи управління якістю. Вимоги. Чинний від 2001–10–01.
3. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування технічного стану. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.95.
4. Соломенцев О.В., Німич В.В. Аналіз технологічних операцій в системах обслуговуючого типу // Електроніка та системи управління. – 2007. – №2(12). – С.100–105.
5. Заліський М.Ю., Соломенцев О.В., Німич В.В., Яшанов І.М. Урахування похибок діагностування під час аналізу технологічних операцій // Електроніка та системи управління. – 2007. – №3(13). – С. 134–140.
6. Заліський М.Ю., Німич В.В., Яшанов І.М. Обґрунтування структури системи менеджменту якості // Електроніка та системи управління. – 2008. – №1 (15). – С. 153 – 157.
7. Заліський М.Ю., Німич В.В., Яшанов І.М. Оцінка відповідності процесів // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2009. – Вип. 2 (26). – С. 52 – 57.
8. Мелкумян В.Г. Технологічні системи обслуговуючого типу. Елементи теорії проектування і прикладні задачі експлуатації. – К.: НАУ, 2003. – 171 с.
9. Соломенцев А.В. Проектирование систем эксплуатации радиоэлектронного оборудования предприятий гражданской авиации. – К.: О-во “Знание”, 1987. – 20 с.