

УДК 629.7.067

Г.Н. Котельніков, Ю.В. Кравченко, О.В. Вовк

Національна академія оборони України, Київ

## ОСНОВНІ ШЛЯХИ ПІДТРИМАННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ МОДЕРНІЗОВАНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

*В статті розкривається методика підтримання та підвищення стану безпеки польотів на необхідному рівні при модернізації основних функціональних систем ЛА та підтримання надійності модернізованих систем.*

*літальний апарат, стан безпеки польотів, модернізація, функціональна система, надійність, технічний ресурс*

Модернізація бойової авіаційної техніки в теперішній час стала одним з важливих шляхів підтримання бойового потенціалу авіації військового призначення і підвищення бойової ефективності (БЕ) літального апарата. Підвищення бойової ефективності літального апарата однозначно пов'язувалась з підвищенням безпеки польотів (БзП)

Як указано в [1] основним напрямком забезпечення безпеки польотів при модернізації літального апарата є підвищення надійності його основних функціональних систем. В процесі експлуатації необхідно проводити заходи по підтримці надійності модернізованих систем і тим самим забезпечувати технічну безпеку польотів на заданому при модернізації рівні впродовж технічного ресурсу або календарного строку експлуатації.

В методологічному плані задача забезпечення заданого рівня безпеки польотів (БзП) є комплексною і передбачає поетапне вирішення наступних часткових задач:

виявлення в кожній функціональній системі переліку можливих функціональних відмов, що потенційно загрожують БзП;

визначення імовірності (інтенсивності) їх виникнення і рівня небезпеки;

розподілу заданого рівня БзП між функціональними системами;

розрахунок рівня безпеки польотів по кожній функціональній системі;

об'єднання результатів розрахунків, які отримані по кожній системі.

Для забезпечення безпеки майбутнього польоту необхідно, по-перше, виявити і усунути відмови і несправності всіх функціональних систем, що забезпечують політ. До них відноситься: силова установка, паливна система, система управління, гідравлічна система, система управління шасі, парашутно-тормозна система.

Імовірність перебування будь-якої і-ої з цих функціональних систем в несправному стані перед черговим польотом залежить від її надійності, що

визначається інтенсивністю відмов  $\lambda_i$  і загальною кількістю літального апарата після модернізації  $t_\Sigma$

$$P_i(t_\Sigma) = e^{-\lambda_i t_\Sigma}, \quad (1)$$

а імовірність надійності і-ої системи перед польотом в несправному стані

$$q_i(t_\Sigma) = 1 - e^{-\lambda_i t_\Sigma}. \quad (2)$$

В процесі підготовки ЛА до польоту несправність і-ої системи може бути усунена, тобто система може бути приведена у справний стан з імовірністю

$$P_{ci} = P_{\text{помі}} + q_{\text{помі}} \cdot r_{ki} \quad (3)$$

або залишиться несправною з імовірністю

$$q_{ni} = q_{\text{помі}} \cdot r_{ki}, \quad (4)$$

де  $P_{\text{помі}}$ ,  $q_{\text{помі}}$  – відповідно імовірності недопущення здійснення помилки (невиявлення несправності) фахівцями озброєння при підготовці до польоту і-ої системи;

$r_{ki}, R_{ki}$  – відповідно умовні імовірності пропуску і виявлення (усунення) при контролі припущеної помилки виконавцем при підготовці і-ої системи до польоту (при її діагностуванні і технічному обслуговуванні).

Для отримання достовірних оцінок ймовірностей  $P_{\text{помі}}$ ,  $q_{\text{помі}}$  необхідна ретельна організація збору і обліку даних експлуатації, ретельна обробка статистичних даних по модернізованому ЛА. У випадку неможливості отримати об'єктивні оцінки таким шляхом використовують метод експертного опитування.

Враховуючи незалежність відмов функціональних систем літального апарата (ЛА), що розглядаються, в польоті отримуємо імовірності благополучного і неблагополучного закінчення польоту з урахуванням можливих помилок особового складу озброєння при підготовці ЛА до польоту (при діагностуванні і технічному обслуговуванні функціональних систем, що розглядаються)

$$P_i = p_i + q_i(p_{ci} + q_{ni}r_i); \quad (5)$$

$$Q_i = q_i q_{ni} \bar{r}_i, \quad (6)$$

де  $p_i + q_i = 1$ ,  $p_{ci} + q_{ni} = 1$ ;

$$r_i = \bar{r}_c = 1, P_i + Q_i = 1.$$

Для літального апарата, який складається з “n” функціональних систем

$$P = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (7)$$

Оскільки  $P + Q = 1$ , то імовірність неблагополучного завершення польоту (рівень ризику) ЛА, що складається з “n” систем

$$Q = 1 - P = 1 - \prod_{i=1}^n P_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i). \quad (8)$$

Практика експлуатації свідчить, що імовірність авіаційної події (рівень ризику), обумовлена можливістю випуску в політ ЛА з несправностями значно менше одиниці, тому вираз (8) можна замінити сумою ймовірностей, тобто

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (9)$$

Покажемо можливість такої заміни на прикладі для  $n=3$ :

$$\begin{aligned} Q &= 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - Q_i) = 1 - [(1 - Q_1)(1 - Q_2)(1 - Q_3)] = \\ &= Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_1 Q_2 - Q_1 Q_3 - Q_2 Q_3 + Q_1 Q_2 Q_3 \approx \\ &\approx Q_1 + Q_2 + Q_3, \end{aligned}$$

оскільки останні складові є величинами другого і третього порядку малості.

Розрахунки показують [2], що оцінки рівня ризику за виразом (9) відрізняються від оцінки (8) не більше, ніж на 3%. При цьому рівень ризику на цю величину є завищеним, що свідчить про більш жорстку оцінку рівня безпеки польотів.

Згідно (9) імовірність авіаційної події, яка обумовлена станом функціональної системи перед польотом, залежить від імовірності  $q_i$  знаходження цієї системи в несправному стані, від імовірності здійснення помилок фахівцями служби озброєння  $q_{пomi}$  (невиявлення і неусунення несправності) при підготовці  $i$ -ої системи до польоту, умовної імовірності пропуску цієї помилки  $\bar{r}_{ki}$  при контролі та імовірності не парирування льотчиком  $\bar{r}_i$  наслідків проявлення несправності  $i$ -ої системи в польоті.

Несправності функціональних систем ЛА і їх проявлення в польоті за своїми наслідками мають різний ступінь небезпеки. Тому з позиції забезпечення БЗП не для всіх систем необхідно вимагати однаково високу експлуатаційну досконалість [1]. Для систем, несправності яких при проявленні в

польоті ведуть до найбільш небезпечних наслідків, необхідно забезпечити кращу експлуатаційну технологічність і контролепридатність. В цих умовах важливим заходом по виявленню несправностей функціональних систем усунення припущених помилок при їх діагностуванні і технічному обслуговуванні є поопераційний контроль, тобто виконання подвійного контролю (виконавцем і посадовою особою) найбільш відповідальних видів робіт, при яких можуть бути припущені помилки при діагностуванні і технічному обслуговуванні. В першу чергу для поопераційного контролю виокремлюються ті системи і їх складові (вузли і агрегати), несправності яких в більшому ступені загрожують БЗП.

При заданій умовній імовірності невиявлення і неусунення несправності  $i$ -ої функціональної системи  $q_{пomi} = q_{пomi} \bar{r}_{ki}$  імовірність авіаційної події (АП) (6) суттєво залежить від часу підготовки цієї системи до польоту  $t_i$ . Статистична обробка експериментальних даних дозволяє подати на інтервалі часу  $t_i$  залежність (9) у вигляді лінійного, або квадратного поліномів  $Q_i = a_i + b_i t_i$  [1]

$$Q_i = a_i + b_i t_i + c_i t_i^2,$$

де  $a_i, b_i, c_i$  – постійні коефіцієнти.

Тоді задача по оптимальному розподілу часу  $t_i$  в умовах незмінного загального часу  $T_\Sigma$  підготовки ЛА до польоту в термінах динамічного програмування формулюється наступним чином: необхідно знайти таке  $t_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), щоб функція (10) мала мінімум в

$$Q = Q_1(t_1) + Q_2(t_2) + \dots + Q_n(t_n) \quad (10)$$

області, що визначається співвідношенням

$$t_1 + t_2 + \dots + t_n = T_\Sigma. \quad (11)$$

Оскільки мінімум імовірності АП (10) залежить тільки від часу  $T_\Sigma$ , виділеного на підготовку всіх модернізованих систем ЛА до польоту, і від загальної кількості цих систем, тоді можна визначити послідовність функцій

$$f_n(T_\Sigma) = \min_{\{t_i\}} F[Q_1(t_1), Q_2(t_2), \dots, Q_n(t_n)], \quad (12)$$

які є рекурентним співвідношенням, з яких визначається оптимальне значення  $t_i$  розрахунки показують [1], що оптимізація розподілу сумарного часу діагностування і технічного обслуговування систем дає можливість знизити рівень ризику, визначеної помилками інженерно-технічного складу (4), на 15 – 20%.

За допомогою методу динамічного програмування може бути вирішена і зворотна задача – зада-

ча мінімізації часу на діагностування і технічне обслуговування модернізованих систем ЛА для забезпечення рівня ризику не вище заданого. Ця задача складається з того, щоб так розподілити задане значення  $Q_{\text{зад}}$  серед модернізованих систем, тобто знайти такі значення  $Q_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), щоб загальний час для їх діагностування і технічного обслуговування  $T_{\Sigma}$  був мінімальним в області

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = Q_{\text{зад}} \quad (13)$$

Для рішення цієї задачі більш зручним для проведення розрахунків є апроксимізація виразу (6) у вигляді

$$Q_i = a_i e^{-b_i t_i}, \quad (14)$$

де

$$a_i = q_i \bar{r}_i; e^{-b_i t_i} = q_{\text{помі}} \bar{r}_{ki} = q_{\text{ні}}(t_i); b_i > 0,$$

при цьому значення  $q_i$  визначається з використанням виразу (2),  $\bar{r}_i$  – статистичним моделюванням динаміки руху ЛА і моделі дій льотчика по парированню наслідків проявлення несправності  $i$ -ої системи в польоті. Залежність  $q_{\text{ні}}(t)$  може бути визначена експертним оцінюванням із залученням інженерно-технічного складу, який здійснює діагностування і технічне обслуговування функціональних систем ЛА, а також контроль якості виконання робіт.

З (14) визначається потрібний час  $t_i$  діагностування і технічного обслуговування, що забезпечує рівень ризику  $Q_i$

$$t_i = \frac{1}{b_i} \left( \ln \frac{a_i}{Q_i} \right). \quad (15)$$

Для розподілу  $Q_{\text{зад}}$  між модернізованими функціональними системами ЛА, щоб загальний час для його діагностування і технічного обслуговування був мінімальним, складемо рекурентні співвідношення, з яких визначаються оптимальні значення  $Q_{i\text{opt}}$  ( $i = \overline{1, 6}$ ):

$$f_6(Q_{\text{зад}}) = f_6(Q_N) = \min_{0 \leq Q_6 \leq Q_N} \left[ \frac{1}{b_6} \left( \ln \frac{a_6}{Q_6} \right) + f_5(Q_V) \right]; \quad (16)$$

$$f_5(Q_V) = \min_{0 \leq Q_5 \leq Q_V} \left[ \frac{1}{b_5} \left( \ln \frac{a_5}{Q_5} \right) + f_4(Q_{IV}) \right]; \quad (17)$$

$$f_4(Q_{IV}) = \min_{0 \leq Q_4 \leq Q_{IV}} \left[ \frac{1}{b_4} \left( \ln \frac{a_4}{Q_4} \right) + f_3(Q_{III}) \right]; \quad (18)$$

$$f_3(Q_{III}) = \min_{0 \leq Q_3 \leq Q_{III}} \left[ \frac{1}{b_3} \left( \ln \frac{a_3}{Q_3} \right) + f_2(Q_{II}) \right]; \quad (19)$$

$$f_2(Q_{II}) = \min_{0 \leq Q_2 \leq Q_{II}} \left[ \frac{1}{b_2} \left( \ln \frac{a_2}{Q_2} \right) + f_1(Q_I) \right]; \quad (20)$$

$$f_1(Q_I) = f_1(Q_I) = \frac{1}{b_1} \left( \ln \frac{a_1}{Q_I - Q_2} \right). \quad (21)$$

Співвідношення (16) – (21) є описом багатокрокового процесу розподілу  $Q_{\text{зад}}$  між модернізованими системами ЛА ( $n = 6$ ); вони забезпечують виконання вимоги  $T_{\text{min}}$  при  $Q_{\text{зад}}$ .

Для знаходження всіх  $Q_{i\text{opt}}$   $i = \overline{1..6}$  процес необхідно “пройти” двічі: від кінця до початку, коли визначаються умовні оптимальні значення  $Q_i = f(Q_j)$  ( $j = \text{II..N}$ ), та від початку до кінця, коли визначаються безумовні оптимальні значення  $Q_{i\text{opt}} = f(Q_N) = f(Q_{\text{зад}})$ .

В результаті для будь-якої з шести модернізованих функціональних систем отримуємо

$$Q_{i\text{opt}} = \frac{Q_{\text{зад}}}{b_i \sum_{i=1}^6 \frac{1}{b_i}}. \quad (22)$$

У відповідності з (15)

$$t_{i\text{min}} = \frac{1}{b_i} \ln \frac{a_i}{Q_{i\text{opt}}}. \quad (23)$$

При цьому загальний мінімальний час для діагностування і технічного обслуговування шести модернізованих систем ЛА буде визначатися сумою

$$T_{\text{min}} = \sum_{i=1}^6 t_{i\text{min}}. \quad (24)$$

Таким чином, метод динамічного програмування дозволяє аналітичним шляхом вирішувати задачі з використанням оптимальних значень часу діагностування і технічного обслуговування модернізованих систем ЛА для забезпечення необхідного рівня безпеки польотів.

## Список літератури

1. *Безопасность полётов летательных аппаратов / Под ред. Н.М. Лысенко. – М.: ВВИА им. Жуковского, 2003. – 336 с.*

2. *Котельников Г.Н., Лихоманенко В.А. Безпека польотів літальних апаратів / За ред. Б.Й. Семона. – К.: НАОУ, 2004. – 230 с.*

Надійшла до редколегії 19.03.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.А. Машков, Національна академія оборони України, Київ