

УДК 629.735.017.1.05(045)

В. І. Бажан, асп.

В. М. Казак, д-р. техн. наук, проф.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЖИВУЧОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛІТАКАНАУ, кафедра автоматизації та енергоменеджменту EES@nau.edu.ua; kazak_dok@rambler.ru

Наведено аналіз методів оцінювання живучості інформаційно-вимірювального комплексу пілотажно-навігаційного обладнання регіонального літака.

The analysis methods estimation vitality informatively-measuring complex pilotage-navigation equipment of regional airplane is considered.

Вступ

Живучість інформаційно-вимірювального комплексу (ІВК) – це властивість, що забезпечує нормальне виконання заданих функцій у польоті в умовах непередбачених зовнішніх або внутрішніх деградаційних дій.

Надійність інформаційного забезпечення пілотажно-навігаційного обладнання (ПНО) регіонального повітряного корабля (ПК) визначають як властивість ІВК виконувати свої функціональні завдання у передбачених умовах і залежить від багатьох факторів:

- обсягу виконуваних комплексом функцій і алгоритмів їх розв'язання;
- структури ІВК;
- вимог забезпечення навігаційних характеристик RN1-RN5 і зональної навігації;
- заданої тривалості роботи з урахуванням зовнішніх умов і внутрішніх процесів деградації.

Інформаційне забезпечення ПНО виконують взаємозв'язані, автономні і неавтономні пристрої, що побудовані та функціонують з різними фізичними принципами і забезпечують визначення:

- координат місцеположення ПК (географічних, ортодромічних);
- кутового і відносного положень ПК (курсу, шляхового кута, відхилення від лінії заданого шляху (ЛЗШ));
- параметрів відносного руху ПК ($a_x, a_y, a_z, V_x, V_y, V_z, W_x, W_y$).

Аналіз методів оцінювання живучості ІВК

Живучість інформаційного забезпечення ПНО суттєво залежить від ступеня комплексування інформаційних систем, їх компонування і технічного стану елементів та систем, що входять в ІВК. Процес зміни технічного стану цих систем є розподілом випадкових подій. Найбільш простий розподіл імовірності працездатності виникає при розгляді

вибіркового простору, що складається з двох результатів: працездатності та відмови. Для дискретних розподілів імовірності надійності складних багатокомпонентних систем у процесі експлуатації характеризується поступовими і раптовими відмовами, моделлю виникнення яких можна вважати потік «рідкісних» подій, що добре описується розподілом Пуассона. Якщо як показник надійності застосувати подію, пов'язану, наприклад, з часом безвідмовної роботи ІВК за заданий час і застосувати модель неперервних розподілів, то згідно з аналізом результатів багаторічних спостережень представницьких вибірок різнорідних електронних елементів з великим терміном попередньої експлуатації, показав, що експоненціальний розподіл частото описує процес виникнення відмов у цих елементах із достатньою точністю [1].

Для визначення методів оцінювання надійності інформаційного забезпечення ПНО дуже важливо вибрати обмеження, визначити початкові умови, структуру й алгоритми роботи ІВК конкретного типу ПК. Наприклад, на регіональному літаку типу Як-42 встановлено ІВК (рис. 1), призначений для вирішення навігаційних завдань для польотів по обладнаних і не обладнаних трасах. Для такого складного і багатофункціонального комплексу, як на літаку Як-42 відмова окремих складових систем не призводить до відмови комплексу в цілому, що свідчить про високу, закладену під час компонування ІВК, живучість.

Відмовою комплексу вважатимемо подію, що полягає у виході літака за задану межу ешелонування (вихід за заданий коридор більше, ніж за 5 км), зумовленому втратою працездатності окремих його систем. Для визначення місцеположення літака методом автоматичного числення використовуються дані шляхової швидкості від доплерівського вимірювача швидкості та зносу (ДВШЗ) або дійсної повітряної швидкості від вимірювального

комплексу повітряно-швидкісних параметрів (ВКПШП), а також інформацію з гіродатчиків про кути курсу від бортової системи формування курсу (БСФК), крену і тангажа від малогабаритної гіровертикалі (МГВ). Залежно від використовуваних систем датчиків розрізняють:

– курсодоплерівське числення (основний режим) при застосуванні ДВШЗ, БСФК, гіродатчиків пілотажно-навігаційної інформації, ЦОМ;

– аерометричне числення – ВКПШП, БСФК, гіродатчики пілотажно-навігаційної інформації, ЦОМ.

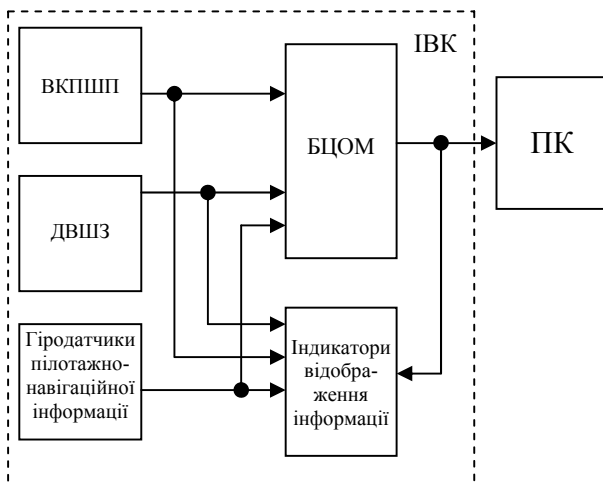


Рис. 1. Функціональна схема інформаційно-вимірального комплексу в режимі «числення координат»; БЦОМ – бортова цифрова обчислювальна машина

Незалежно від методу числення, у разі відмови окремих функціональних систем комплексу, знижується точність навігації і, як результат, знижується безпека польоту. Оцінюючи надійність ІВК, важливо розрізнити відмову комплексу в цілому та відмову його функціональних систем і елементів [3]. У разі дискретних змін станів, зумовлених відмовою систем тих, що входять в ІВК, використовують логічні моделі безвідмовної роботи, в яких перераховуються можливі стани комплексу і правила переходу з одного стану в інший [4]. Для оцінки надійності інформаційного забезпечення ПНО регіонального літака пропонуються методи аналізу його схемної надійності: структурних схем і логічних схем.

Надійність забезпечення ПНО необхідно інформацією переважно оцінюють показниками живучості, тобто з урахуванням можливості збереження ПНО в працездатному стані в непередбачених ситуаціях.

Структурну схему комплексу ІВК для аналізу надійності методом структурних схем показано на рис. 2.

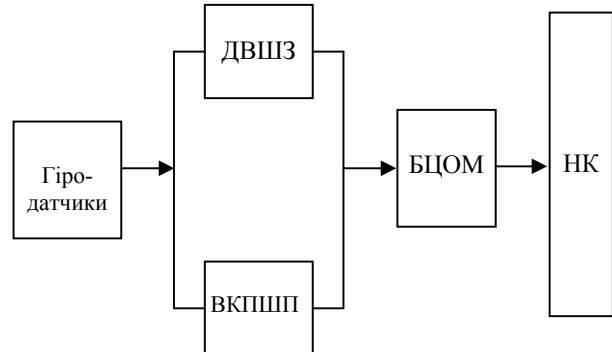


Рис. 2. Структурна схема комплексу ІВК в режимі «числення координат»: НК – навігаційний комплекс

Застосовуючи метод структурних схем для оцінювання надійності ІВК, у роботі припускається, що електропостачання всіх елементів ІВК, надійність ліній інформаційних зв'язків і апаратів комутації, надійність узгоджувальних пристроїв перетворювачів сигналів, надійність систем живлення МАП забезпечуються з імовірністю $P = 1$.

Для отримання розрахункових залежностей оцінки надійності комплексу використано моделі послідовного і паралельного з'єднань ланок. При цьому доцільно для послідовного з'єднання визначити ймовірність безвідмовної роботи (P), а для паралельного – імовірність відмови (Q) [5]. Тоді імовірність безвідмовної роботи комплексу

$$P_K = P_1 (1 - Q_2 Q_3) P_4 .$$

Для отримання кількісних значень імовірності P_i та Q_j , $i, j = \overline{1, n}$ для всіх ланок структурної схеми ІВК визначено інтенсивності відмов λ_i всіх елементів ІВК за результатами статистичної обробки відмов, виявлених за заданий період експлуатації. Для визначення кількісних значень P і Q можна застосовувати експоненціальний та нормальний закони розподілу випадкових величин або, за браком інформації про закони розподілення відмов, скористатися формулами:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] = e^{- \int_0^t \lambda(t) dt} ;$$

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{- \int_0^t \lambda(t) dt} .$$

Розглянутий метод структурних схем можна застосовувати для початкової оцінки надійності ІВК, оскільки він не враховує того, що складові

системи комплексу можуть мати декілька видів взаємозалежних відмов (електроживлення, датчиків первинної інформації і т.ін.).

У дослідженнях використовували результати інженерного аналізу функціональних зв'язків між елементами комплексу і правила алгебри логіки, а також формулювання умов безвідмовної роботи окремих систем і комплексу в цілому. Умови безвідмовної роботи ІВК формулюються так: комплекс працює безвідмовно в режимі «числення координат», якщо безперерійно БЦОМ реалізує програму режиму за умови наявності інформації від гіродатчиків, ДВШЗ і ВКПШП, чи тільки від ДВШЗ або тільки від ВКПШП. Логічну схему безвідмовної роботи ІВК показано на рис. 3.

Умови безвідмовної роботи можна подати у вигляді

$$S = A_1 (A_2 + A_3) A_4 ,$$

де S – подія безвідмовної роботи ІВК; A_1, A_2, A_3, A_4 – безвідмовність роботи відповідно гіродатчиків, ДВШЗ, ВКПШП, БЦОМ.

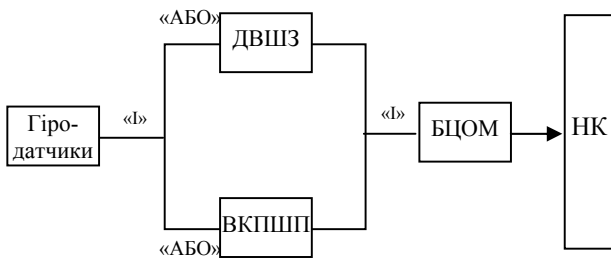


Рис. 3. Логічна схема безвідмовної роботи ІВК у режимі «числення координат»

Замінивши події S і A_i ймовірністю їх появи, отримаємо вираз для безвідмовної роботи комплексу в цілому:

$$P_K = P_1 (P_2 + P_3) P_4 .$$

Цей метод застосовний до ширшого кола завдань кількісного аналізу показників надійності різних за складом і складністю ІВК регіональних літаків у відмовних ситуаціях.

Виконання ІВК заданих функцій характеризується певними вимогами до параметрів. Відмовою комплексу вважається подія виходу літака за межі заданого коридору, зумовленого втратою працездатності складових систем. Імовірність безвідмовної роботи комплексу, що забезпечує політ в коридорі ± 5 км, за розрахунковими даними становить 0,9862. Нехай стан ІВК із достатньою мірою повноти описується деякою сукупністю його технічних параметрів [6]:

$$\{x_1, x_2, \dots, x_i \dots, x_n\}, \tag{1}$$

серед яких в загальному випадку є як вимірювані, так і невимірювані величини.

Для кожного i -го параметра системи (1) можна вказати деяке номінальне значення x_{in} , що відповідає НТП комплексу. Відмінність значень поточних параметрів ІВК від їх номінальних значень оцінюється похибками:

$$\Delta x_i = x_i - x_{in}; x_i \in X, i = \overline{1, n}. \tag{2}$$

Повнішою імовірнісною характеристикою комплексу взаємозалежних випадкових величин X_1, X_2, \dots, X_n може бути інтегральна багатовимірна функція розподілу, яка визначається як імовірність спільної появи n подій [6]:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(X_1 < x_1, X_2 < x_2 \dots X_n < x_n). \tag{3}$$

Іншою повною імовірнісною характеристикою випадкових значень параметрів ІВК є n -вимірна спільна щільність імовірності, визначувана як змішана приватна похідна від функції (3):

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{d^n F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{d x_1 d x_2 \dots d x_n}. \tag{4}$$

Розподіли (4) мають сенс характеристик якості функціонування ІВК за показниками його точності. Для значень параметрів системи (1) потрібно встановити області допустимих значень $(a_i, b_i), i = \overline{1, n}$, таких, що відповідають умовам:

$$\begin{cases} \text{якщо } a_i < x_i < b_i - \text{система працездатна;} \\ \text{якщо } x_i < a_i \text{ або } x_i > b_i - \text{система непрацездатна.} \end{cases} \tag{5}$$

Умови (5) є правилом прийняття рішення.

Імовірність працездатного стану ІВК, тобто спільного виконання умов (5) за всіма параметрами x_i ,

$$P = \int_{a_1}^{b_1} \dots \int_{a_n}^{b_n} f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n. \tag{6}$$

Умови працездатності комплексу можна записати у вигляді вимог (2):

$$\alpha_i < \Delta x_i < \beta_i, \tag{7}$$

де $\alpha_i = a_i - x_{in}; \beta_i = b_i - x_{in}$.

Імовірність виконання умов (7) отримаємо за відомою спільною щільністю імовірності $\omega(\Delta x_1 \dots \Delta x_n)$ (2) у вигляді

$$P = \int_{\alpha_n}^{\beta_n} \dots \int_{\alpha_1}^{\beta_1} \omega(\Delta x_1 \dots \Delta x_n) d\Delta x_1 \dots d\Delta x_n, \tag{8}$$

де $\omega(\Delta x_i) = f(x_{\text{нн}} + \Delta x_i)$.

Для оцінювання стану ІВК за якимось одним з параметрів X_i імовірність працездатного стану комплексу визначають таким чином:

$$P = \int_a^b f(x) dx = \int_{a-x_{\text{нн}}}^{b-x_{\text{нн}}} \omega(\Delta x) d\Delta x, \quad (9)$$

де a, b – межі допустимих значень, що відповідають НТП.

З аналізу рівнянь (6), (8), (9) випливає, що показники працездатності комплексу однозначно можна виразити через його точнісні характеристики. Точність відносно працездатності є первинною властивістю ІВК. У свою чергу, працездатність ІВК характеризує його якість функціонування. Відповідно залежності (6), (8) і (9) – показники якості функціонування ІВК за критерієм його працездатності, що дозволяють оцінювати живучість інформаційного забезпечення ПНО регіонального літака.

За наявності достовірних статистичних даних результатів експлуатації ІВК для оцінювання його надійності можна застосувати метод інтервальних оцінок. За цим методом надійність комплексу визначають імовірністю перебування випадкового процесу $\xi(t)$ (що характеризує працездатність ІВК) нижче або вище від заданого рівня (перебування літака в коридорі, на заданому ешелоні і т. ін.). Для визначення надійності інформаційного забезпечення ПНО необхідно визначити ймовірність $P(-v, v, t)$ перебування $\xi(t)$ у смузі, обмеженій рівнем v зверху і рівнем $(-v)$ знизу, $-v < v$ [2], тобто:

$$P(-v, v, t) = P\{-v < \xi(t) < v, \tau \in [0, t]\}.$$

Якщо в початковий момент задовольняється умова $-v < \xi(0) < v$ із ймовірністю

$$P(-v, v, 0) = 2F\left(\frac{v}{\sigma}\right) - 1,$$

де $F(x) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^x \exp\{-y^2/2\} dy$; σ^2 – дисперсія

процесу, то в цьому випадку перший перетин рівня v може бути додатним, а рівня $(-v)$ – від'ємним. Для інженерних розрахунків аналітичні вирази нижньої і верхньої оцінок імовірності $P(-v, v, t)$ для випадку, коли $\xi(t)$ – стаціонарний гауссівський процес, що диференціюється нормованою кореляційною функцією $p(t)$, має вигляд [2]:

$$P(-v, v, t) \geq 2F(v/\sigma) - 1 + at -$$

$$a \int_0^t \{F(b) + F(c)\} d\tau + \\ + a \int_0^t d \{ \exp\{-v^2(1-p(\tau))/(2\sigma^2(1+p(\tau)))\} F(bd) - \\ - \exp\{-v^2(1-p(\tau))/(2\sigma^2(1-p(\tau)))\} F(-cd) \} d\tau, \quad (10)$$

де σ^2 – дисперсія похідної процесу;

$$g(\tau) = (1/(-p''(0))^{1/2}) (dp(\tau)/d\tau); p''(0) = d^2p(\tau)/d\tau^2 \Big|_{\tau=0};$$

$$a = (\sigma_1/\sigma\pi) \exp\{-v^2/(2\sigma^2)\};$$

$$b = v(1-p(\tau))/(\sigma \sqrt{1-p^2(\tau) - g^2(\tau)});$$

$$c = v(1+p(\tau))/(\sigma \sqrt{1-p^2(\tau) - g^2(\tau)});$$

$$d = g(\tau)/\sqrt{1-p^2(\tau)};$$

$$P(-v, v, t) \leq 2F(v/\sigma) - 1 +$$

$$+ a \int_0^t d \{ \exp\{-v^2(1-p(\tau))/(2\sigma^2(1+p(\tau)))\} - \\ - \exp\{-v^2(1+p(\tau))/(2\sigma^2(1-p(\tau)))\} \} d\tau. \quad (11)$$

Із виразів (10) і (11) визначаємо нижню і верхню межі ймовірності безвідмовної роботи ІВК протягом заданого часу.

Висновки

Виконано аналіз методів оцінювання живучості ІВК, за якими можна оцінювати надійність інформаційного забезпечення ПНО регіональних літаків.

Література

1. Гнеденко Б. В., Ушаков И. А. Современная теория надежности: состояние, проблемы, перспективы // Надежность и контроль качества. – 1989. – №1. С. 6–22.
2. Даниев Ю. Ф., Жукова Л. Г., Куц И. А. Оценка надежности технических устройств // Надежность и контроль качества. – 1992. – № 9. – С. 3–5.
3. Казак В. М., Липихин С. А. Анализ факторов и умов, що викликають зниження живучості літальних апаратів: Зб. наук. пр., МНТК “Авіа-2001”. – К, 2001.
4. Комаров А. А. Надежность воздушных судов: Учеб. пособие. – К.: КМУГА, 1995. – 416 с.
5. Косточкин В. В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
6. Савин С. К. Оценка качества функционирования технических систем с использованием априорной информации. – М.: Машиностроение, 1992. – 336 с.

Стаття надійшла до редакції 02.02.07.