

## АЕРОКОСМІЧНІ СИСТЕМИ МОНИТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 629.635.083.064:681.322.001.57

В.П. Захарченко, доц.

**МЕТОД ОПЕРАТИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ВІДМОВОСТІЙКИХ КОМПЛЕКСІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Наведено метод оперативної діагностики відмовостійких комплексів електропостачання літальних апаратів та методику його реалізації. Розглянуто алгоритм гнучкої програми пошуку відмов, реалізований на основі використання інформації про ознаки нормального функціонування, відмов та взаємного впливу елементів відмовостійких комплексів

Багаторазова структурна та функціональна насиченість систем літальних апаратів, що забезпечуює високі запити безпеки польотів, значною мірою визначає використання в експлуатації методів технічного обслуговування та ремонту (ТОіР). Удосконалення складних літакових систем, методів ТОіР здійснюється впровадженням експлуатаційно-технічних заходів, які розробляються на основі всебічного аналізу експлуатаційних властивостей досліджуваних об'єктів [1; 2]. Проведення такого аналізу дозволяє отримати кількісні оцінки впливу експлуатаційно-технічних заходів на показники безпеки та регулярності польотів і розробити обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності використання літального апарату (ЛА).

Процес дослідження кількісних показників взаємного впливу технічного стану відмовостійких систем ЛА на безпеку та регулярність польотів і організаційно-технічні заходи із забезпечення ТОіР безпосередньо пов'язані з розробкою прикладних методів для оперативного управління підприємством в АТБ. Задачами оперативної діагностики є вибор раціональної послідовності перевірок відмовостійких електроенергетичних систем ВЕЕК за інформацією про характер відмов та несправностей з борту ЛА, який знаходиться в рейсі.

Особливістю розглядувального методу оперативної діагностики відмовостійких комплексів є можливість формування програм пошуку несправностей у системи ВЕЕК ЛА за допомогою ПЕОМ, для чого розроблено алгоритм гнучкої програми пошуку несправностей. Алгоритм реалізовано на основі використання інформації про ознаки нормального функціонування, відмов і взаємного впливу обладнання ВЕЕК [3].

Використовуючи інформацію про ознаки нормального функціонування відмов та їх причин, можна побудувати матриці з'єднань елементів системи для різних режимів функціонування  $P_j$ . Для побудови матриць вибирається сукупність функціонально взаємно пов'язаних елементів, яка забезпечує нормальне функціонування розглянутого режиму роботи системи  $P_j$ . Матриця з'єднань елементів  $A$  має  $N$  рядків та  $n+1$  стовпців (див. таблицю).

Матриця з'єднань елементів для різних режимів функціонування

Умовний номер елемента системи	1	2	...	...	n	Вірогідність знаходження відмови елемента системи
1	1	1	...	0	...	$P_1$
2	0	1	...	1	...	$P_2$
...	...	...	...	...	...	...
i	0	0	...	1	...	$P_i$
...	...	...	...	...	...	...
N	0	0	...	0	...	$P_N$

У рядках таблиці кодом «одиниця» позначені взаємно пов'язані елементи, входи та виходи яких мають відповідне з'єднання. Умовно елементи матриці головної діагоналі також позначені кодом «одиниця». У клітинці на перетині рядка відповідно до даного елементу і стовпця  $n+1$  ставиться величина вірогідності виявлення відмови елемента досліджуваної системи  $P_1$ . Значення вірогідності  $P_1$  може визначатися за статистичними даними:

$$P_1 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}.$$

У процесі пошуку несправності необхідно, насамперед, визначити, у яких елементах системи найбільш вірогідно виникнення відмови. Для цього на ПЕОМ з матриці з'єднань елементів системи (див. таблицю) формується матриця взаємного впливу елементів системи (матриця  $B$ ). У матриці взаємовпливу виділені «впливаючі» області та області впливу елементів системи, що забезпечує повне використання інформації про ознаки нормального функціонування та відмов елементів системи, а також виділення області з мінімальною кількістю елементів системи, схильних до відмови. Формування на ПЕОМ матриці взаємовпливу  $B$  можна провести за допомогою таких рекурентних перетворень:

$$B_{(i,j)}^{(1)} = \begin{cases} 1 \text{ при } \sum_{l=1}^N A_{(i,l)} A_{(l,j)} \neq 0; \\ 0 \text{ при } \sum_{l=1}^N A_{(i,l)} A_{(l,j)} = 0; \end{cases}$$

$$B_{(i,j)}^{(2)} = \begin{cases} 1 \text{ при } \sum_{l=1}^N B_{(i,l)}^{(1)} A_{(l,j)} \neq 0; \\ 0 \text{ при } \sum_{l=1}^N B_{(i,l)}^{(1)} A_{(l,j)} = 0; \end{cases}$$

$$B_{(i,j)}^{(k)} = \begin{cases} 1 \text{ при } \sum_{l=1}^N B_{(i,l)}^{(k-1)} A_{(l,j)} \neq 0; \\ 0 \text{ при } \sum_{l=1}^N B_{(i,l)}^{(k-1)} A_{(l,j)} = 0; \end{cases}$$

$$B_{(i,j)} = B_{(i,j)}^{(N)} = \begin{cases} 1 \text{ при } \sum_{l=1}^N B_{(i,l)}^{(N-1)} A_{(l,j)} \neq 0; \\ 0 \text{ при } \sum_{l=1}^N B_{(i,l)}^{(N-1)} A_{(l,j)} = 0, \end{cases}$$

де  $i = \overline{1, N}$ ;  $j = \overline{1, N}$ .

При виконанні на ПЕОМ рекурентних перетворень (1) матриця  $B$  формується таким чином, що кодом «одиниця» позначаються ті елементи в рядку, які входять до області впливу, та елементи в стовпці, що складають впливаючу область. Отже, у рядках матриці  $B$  кодом «одиниця» позначена сукупність елементів системи, які впливають на  $K$ -й елемент, включаючи його самого.

Наступним кроком у формуванні програми є вибір напрямку пошуку, який можна подати у вигляді різних комбінацій послідовності перевірок елементів системи і чергової оцінки стану «працездатний» або «непрацездатний» через порівняння з еталоном. При цьому у

випадку оцінки стану «працездатний» продовжується подальше використання елемента системи, а у випадку оцінки стану «непрацездатний» здійснюються необхідні заходи, направлені на виконання ремонту чи заміни. Контроль стану системи краще почати з того елемента, у якого вірогідність «непрацездатності» буде максимальною. Ця вірогідність для  $i$ -го елемента може бути визначена за формулою

$$Q_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_i V_{(i,j)} X_j) \quad i = \overline{1, n},$$

де  $n$  – кількість елементів системи;  $P_i$  – вірогідність знаходження відмови  $i$ -го елемента;  $V_{(i,j)}$  – матриця взаємовпливу елементів системи;  $X_j$  – вектор стану елементів системи.

Для формування на ПЕОМ вектора стану елементів системи необхідно обчислити значення  $Q_i$  для всіх її елементів, провести оцінку стану кожного елемента з максимальним значенням  $Q_i$  і зафіксувати одержану інформацію у векторі  $X_i$ .

При цьому елементи у векторі стану можуть приймати значення «нуль» або «одиниця», а кількість елементів вектора стану буде дорівнювати кількості елементів досліджуваної системи:

$$X_i = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$$

де  $X_k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) набуває значення «нуль» при оцінці стану «працездатний» і «одиниця» – при оцінці стану «непрацездатний».

За станом «працездатний» кожного елемента з максимальним значенням  $Q_i$  цьому елементу надається код «нуль» у векторі стану, і наступне  $l$ -те значення елементів у векторі стану формується помноженням попереднього  $(l-1)$  значення на одиницю мінус відповідний  $K$ -те стовпець матриці взаємовпливу  $V$ :

$$X_i^{(l)} = X_i^{(l-1)} [1 - V_{(i,k)}], \quad i = \overline{1, n}.$$

Якщо у векторі стану всі елементи системи мають значення «нуль», то це свідчить про працездатність стану ВЕЕК. Якщо є елементи зі значенням «одиниця», то знову визначається  $Q_i$  з урахуванням інформації про стан «працездатний» ряду елементів системи, які містяться у векторі стану. При виявленні  $K$ -го елемента в стані «непрацездатний» вектор стану формується за формулою

$$X_i^{(l)} = X_i^{(l-1)} V_{(i,k)}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Таким чином, при створенні на ПЕОМ програм пошуку несправності сукупність елементів системи розбивається на дві підмножини, з яких формуються різні комбінації послідовності перевірок оцінки стану елементів ВЕЕК [4].

Перша підмножина складає сукупність елементів системи із «впливаючої» області, а друга – елементів, не належних до «впливаючої» області.

Вірогідність виявлення відмови серед елементів системи, вхідних до «впливаючої» області контрольованого елемента, підраховується за формулою:

$$Q_i^{(1)} = 1 - \prod_{j=1}^n [1 - P_i V_{(i,j)}].$$

Вірогідність виявлення відмови серед елементів, що не входять до «спливаючої» області, розраховується за формулою

$$Q_i^{(2)} = 1 - \prod_{j=1}^n \{1 - P_i [1 - V_{(i,j)}]\}.$$

Розраховані значення вірогідностей виявлення відмов  $Q_i^{(1)}$ ,  $Q_i^{(2)}$  використовуються для чергової оцінки стану елемента системи при формуванні послідовності перевірок. Вибір чергового елемента для оцінки стану «працездатний» або «непрацездатний» здійснюється за мінімальним модулем:

$$M = \min_{i=1, n} |Q_i^{(1)} - Q_i^{(2)}| = \min_{i=1, n} \left| \prod_{j=1}^n (1 - P_{i,j}) [1 - B_{(i,j)}] - \prod_{j=1}^n (1 - P_{i,j}) B_{(i,j)} \right|. \quad (2)$$

Вибір черги оцінок стану елементів за мінімальним модулем (2) забезпечує раціональне формування послідовності перевірок. Якщо елемент, що перевіряється, знаходиться в стані «працездатний», то всі елементи з його «впливаючої» області справні. Це твердження дає можливість стиснути матрицю В через викидання рядків та стовпців елементів системи, які складають «впливаючу» область елемента, що перевіряється. Після кожної зміни в матриці взаємовпливу В проводиться перерахунок для змінених елементів системи модулів різниці вірогідностей. Процедура перетворювання продовжується до отримання в матриці В одного рядка і стовпця, що відповідає локалізації несправності в одному елементі.

Під час формування програм несправностей на ПЕОМ друкуються умовні номери елементів системи, у яких проводиться оцінка стану. Знак «←» ставиться перед умовними номерами елемента з ознакою «непрацездатний». Різні комбінації послідовності перевірок друкуються рядками «S:». Після кожного рядка друкується умовний номер елемента, який відмовився, або символ ОВН (ознак «відмови немає»), наприклад, для системи з трьох елементів:

```

S:   2   -3
      3
S:   2   3
      ОВН
S:  -2   1
      2
S:  -2  -2
      1

```

Перший рядок означає, що оцінка стану починається з другого елемента системи. При виявленні перевіркою ознаку проводиться оцінка стану третього елемента, для якого визначено стан «непрацездатний», друкується номер третього елемента системи, який знаходиться в стані відмови.

У другому рядку друкуються умова перевірки стану другого і третього елементів системи, у результаті якої встановлено ознака «працездатний», та символ ОВН.

У третьому рядку друкується ознака «непрацездатний» другого елемента і при працездатному стані першого елемента встановлюється відмова в другому елементі.

У четвертому рядку друкується ознака «непрацездатний» другого і першого елементів системи та встановлюється відмовний стан першого елемента.

За отриманою з ПЕОМ інформацією можна зформувані раціональні програми пошуку несправності в стану ББЕК, які легко уявити у вигляді таблиць з вказівкою переліку перевірок.

#### Список літератури

1. Воробьев В.М., Кохановский Л.Н., Курганский О.А. Эффективность систем АО и безопасность полетов. – К.: КИИГА, 1982. – 63 с.
2. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1980. – 226 с.
3. Горский Л.К. Статистические алгоритмы исследования надежности. – М.: Наука, 1970. – 400 с.
4. Захарченко В.П. Методи та моделі підвищення ефективності відмовостійких систем електропостачання авіоніки // III МНТК АВІА. – К.: НАУ, – 2001.

Стаття надійшла до редакції 21.01.02.