

БЕЗПЕКА АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

УДК 629.735.017.1(045)

О.І. Юрченко, О.В. Готун

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ
“ПОВІТРЯНИЙ КОРАБЕЛЬ-ЕКІПАЖ-СЕРЕДОВИЩЕ”**

За допомогою марківського процесу випадковості з використанням системи диференціальних рівнянь створена математична модель функціонування повітряного корабля як складової частини ергатичної системи “повітряний корабель-екіпаж-середовище”.

Різке ускладнення конструкції літаків та технічного обладнання повітряних кораблів (ПК) як з технічного погляду, так і з погляду на їхнє використання, а також застосування останніх досягнень науково-технічного прогресу суттєво збільшують ціну помилок, які закладаються в проект ПК при прийнятті неоптимальних рішень. Це залежить від досить повного урахування властивостей ПК в моделі, яка досліджується, від існування достовірних вихідних даних, відповідності означеної моделі існуванню наявності та достовірності початкових даних.

Складність конструкції, дорогоцінне виробництво та утримання ПК, забезпечення високої їхньої ефективності, а також надто швидке моральне зношення вимагають збільшення навантаження при використанні ПК, яке значною мірою визначається фактором надійності. Можливі експлуатаційні несправності технічних підсистем ПК призводять до того, що в процесі виконання відповідних задач значення експлуатаційно-технічних характеристик можуть змінюватися так, що їх не можливо визначити наперед, внаслідок цього можливе зниження ефективності експлуатації ПК.

Таким чином, постійне підвищення вимог до ефективності експлуатації ПК збільшує вимоги до надійності їхніх технічних підсистем. Для розв'язання цих задач є два напрями:

- підвищення надійності окремих елементів та вузлів, з яких складаються технічні підсистеми ПК;
- резервування обладнання.

Теоретичною базою для цих рішень може бути наука дослідження операцій, яка вивчає методи кількісної оцінки та оптимізації різноманітних дій. В її основі лежить математичне моделювання функціонування системи, яка вивчається та оптимізація різнобічних параметрів, від яких це функціонування залежить. Оцінку ефективності об'єктів потрібно провадити з урахуванням їхнього функціонування в навколишньому середовищі, коли на об'єкти впливають різнобічні зовнішні фактори (зовнішнє функціонування) та функціонування технічних підсистем об'єктів (внутрішнє функціонування). Таким чином, процес експлуатації об'єкта може бути поданим як сукупність підпроцесів внутрішнього та навколишнього функціонування. Таке визначення дозволяє провадити оцінку впливу технічних рішень, які приймаються в процесі досліджувального проектування, на ефективність об'єкта з урахуванням безвідмовності його технічних підсистем.

Моделювання функціонування ПК як складної системи має деякі особливості:

- підпроцес внутрішнього функціонування ПК допускає розподіл його на елементи різного ієрархічного рівня та вивчення їхніх можливих станів та характеристик, які впливають на ефективність експлуатації літака;
- зовнішнє функціонування ПК розподіляють на низку етапів, які пов'язані з типовими ситуаціями в його експлуатації;
- спільно розглядають процеси функціонування елементів ПК в цілому на етапах використання.

Кожну технічну підсистему та елементи, що її складають, вивчають з точки зору їхніх можливих станів в процесі експлуатації та характеристик, які мають вплив на ефективність експлуатації ПК на основі опису підсистеми. Така підсистема відображає найбільш суттєвий взаємозв'язок її можливих станів з факторами, які на неї впливають. На наступному етапі складають схеми впливу відмов технічної підсистеми на ефективність функціонування ПК, структурні схеми підсистем, граф функціонування ПК, далі – логічні та імовірні залежності, які зв'язують характеристики станів, які вивчаються, з підпроцесом зовнішнього функціонування.

Прикладом вищезгаданого моделювання може бути граф функціонування ПК, показаний на рис. 1.

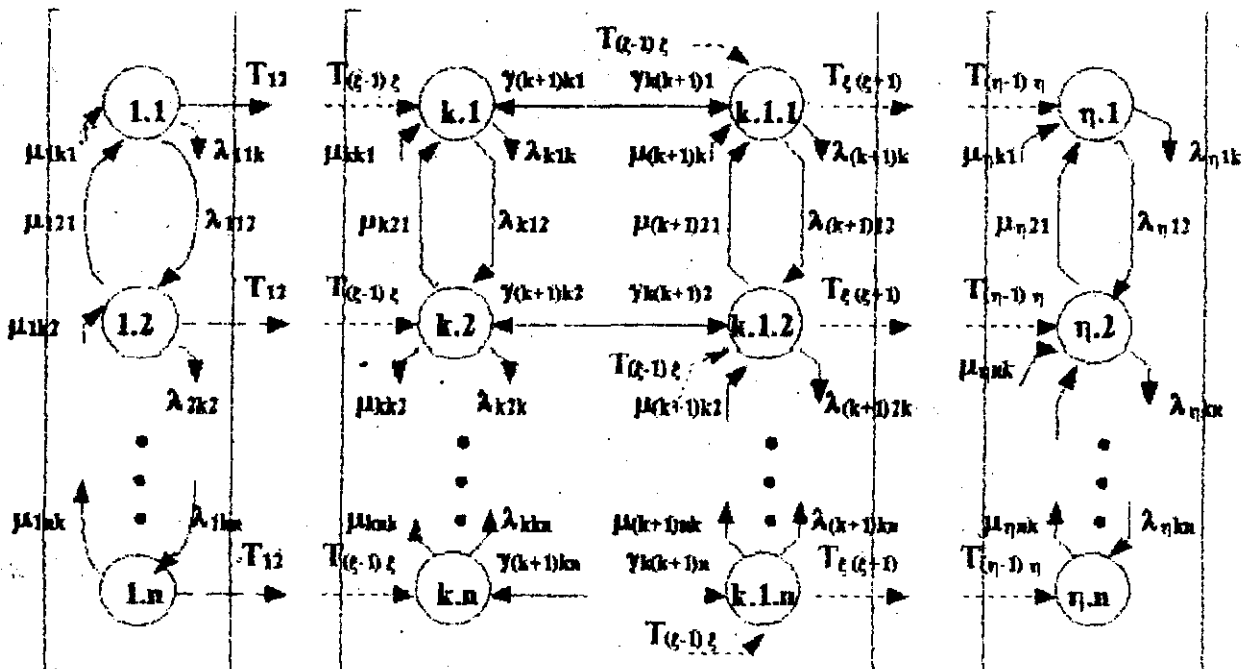


Рис. 1. Граф функціонування ПК

Перший індекс в зазначеному стані ПК характеризує стан в підпроцесі зовнішнього функціонування. Розподіл на етапи процесу функціонування та на складові частини стану підпроцесу зовнішнього функціонування провадиться таким чином, що при виконанні аналізу для кожного етапу можна було б приймати постійною взаємодію зовнішнього середовища, характеристик керування ПК, способи взаємодії різних об'єктів з ПК, що розглядаються. А

для кожного стану – структуру, режим функціонування та закони коливання значень головних характеристик технічних підсистем, сутність реальних зв'язків та взаємодій елементів, а також їхній вплив на ефективність експлуатації ПК.

Етап I – функціонування ПК в початковий період його використання. Його характерні риси – зміна стану підпроцесу внутрішнього функціонування за рахунок відмов технічних підсистем, які впливають строком перебування в різноманітних станах на ефективність експлуатації ПК.

Етап ξ – перехідний. Його характерною рисою є те, що він містить декілька станів підпроцесів зовнішнього функціонування, які відповідають кожному із станів підпроцесів внутрішнього функціонування.

Етап ω – заключний. Його характерні риси аналогічні рисам початкового етапу.

Другий індекс характеризує стан підпроцесів внутрішнього функціонування. Кількість та якість станів підпроцесів залежить від ступеня та виду впливу відмов технічних підсистем на експлуатаційно-технічні характеристики ПК й через них – на ефективність його експлуатації.

Стан підпроцесу внутрішнього функціонування має свої вектори експлуатаційно-технічних характеристик:

l – характеризує відсутність відмов технічних підсистем, які призводять до зміни експлуатаційно-технічних характеристик;

n – характеризує присутність таких відмов, при яких виконання завдання неможливе;

T_{ik} – час знаходження ПК на етапі *I* до переходу на етап *k*;

λ_{ijk} , μ_{ijk} – інтенсивність відмов та відновлення обладнання технічних підсистем, які призводять до переходу ПК зі стану в стан в підпроцесі внутрішнього функціонування;

γ_{imn} – інтенсивність переходу ПК зі стану в стан в підпроцесі зовнішнього функціонування (без зміни стану внутрішнього функціонування).

Якщо терміни перебування в станах графа підкоряються показовому закону розподілення з параметрами (*λ_{ijk} , μ_{ijk} , γ_{imn}*), або можуть бути прийняті такими, то функціонування ПК може бути описано марківським випадковим процесом, який можна відобразити у вигляді систем диференціальних рівнянь:

Етап I

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_{1,1}(t)}{\partial t} &= P_{1,2}(t) \mu_{121} + \dots + P_{1,n}(t) \mu_{1n1} - P_{1,1}(t) (\lambda_{112} + \dots + \lambda_{11n}); \\ \frac{\partial P_{1,2}(t)}{\partial t} &= P_{1,1}(t) \lambda_{112} + \dots + P_{1,n}(t) \mu_{1n2} - P_{1,2}(t) (\mu_{121} + \dots + \lambda_{12n}); \\ \frac{\partial P_{1,n}(t)}{\partial t} &= P_{1,1}(t) \lambda_{11n} + P_{1,2}(t) \lambda_{12n} + \dots + P_{1,n-1}(t) \lambda_{(n-1)n} - P_{1,n}(t) (\mu_{1n1} + \mu_{1n2} + \dots + \mu_{1n(n-1)}). \end{aligned} \right\}$$

Етап ξ

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_{k,1}(t)}{\partial \alpha} &= P_{k,2}(t) \mu_{k21} + \dots + P_{k,n}(t) \mu_{kn1} + P_{(k+1),1}(t) \gamma_{(k+1)k1} - P_{k,1}(t) (\lambda_{k12} + \dots + \lambda_{k1n} + \gamma_{k(k+1)1}); \\ \frac{\partial P_{k,2}(t)}{\partial \alpha} &= P_{k,1}(t) \lambda_{k12} + \dots + P_{k,n}(t) \mu_{kn2} + P_{(k+1),2}(t) \gamma_{(k+1)k2} - P_{k,2}(t) (\mu_{k21} + \dots + \lambda_{k2n} + \gamma_{k(k+1)2}); \\ \frac{\partial P_{k,n}(t)}{\partial \alpha} &= P_{k,1}(t) \lambda_{k1n} + P_{k,2}(t) \lambda_{k2n} + \dots + P_{(k+1),n}(t) \gamma_{(k+1)kn} - P_{k,n}(t) (\mu_{kn1} + \mu_{kn2} + \dots + \gamma_{k(k+1)n}); \\ \frac{\partial P_{(k+1),1}(t)}{\partial \alpha} &= P_{(k+1),2}(t) \mu_{(k+1)21} + \dots \\ &\quad \dots + P_{(k+1),n}(t) \mu_{(k+1)n1} + P_{k,1}(t) \gamma_{k(k+1)1} - P_{(k+1),1}(t) (\lambda_{(k+1)12} + \dots + \lambda_{(k+1)1n} + \gamma_{(k+1)k1}); \\ \frac{\partial P_{(k+1),2}(t)}{\partial \alpha} &= P_{(k+1),1}(t) \lambda_{(k+1)12} + \dots \\ &\quad \dots + P_{(k+1),n}(t) \mu_{(k+1)n2} + P_{k,2}(t) \gamma_{k(k+1)2} - P_{(k+1),2}(t) (\mu_{(k+1)21} + \dots + \lambda_{(k+1)2n} + \gamma_{(k+1)k2}); \\ \frac{\partial P_{(k+1),n}(t)}{\partial \alpha} &= P_{(k+1),1}(t) \lambda_{(k+1)1n} + P_{(k+1),2}(t) \lambda_{(k+1)2n} + \dots \\ &\quad \dots + P_{k,n}(t) \gamma_{k(k+1)n} - P_{(k+1),n}(t) (\mu_{(k+1)n1} + \mu_{(k+1)n2} + \dots + \gamma_{(k+1)kn}); \end{aligned} \right\}$$

Етап ω

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_{\eta,1}(t)}{\partial \alpha} &= P_{\eta,2}(t) \mu_{\eta21} + \dots + P_{\eta,n}(t) \mu_{\eta n1} - P_{\eta,1}(t) (\lambda_{\eta12} + \dots + \lambda_{\eta1n}); \\ \frac{\partial P_{\eta,2}(t)}{\partial \alpha} &= P_{\eta,1}(t) \lambda_{\eta12} + \dots + P_{\eta,n}(t) \mu_{\eta n2} - P_{\eta,2}(t) (\mu_{\eta21} + \dots + \lambda_{\eta2n}); \\ \frac{\partial P_{\eta,n}(t)}{\partial \alpha} &= P_{\eta,1}(t) \lambda_{\eta1n} + P_{\eta,2}(t) \lambda_{\eta2n} + \dots + P_{\eta,n-1}(t) \lambda_{\eta(n-1)n} - P_{\eta,n}(t) (\mu_{\eta n1} + \mu_{\eta n2} + \dots + \mu_{\eta n(n-1)}). \end{aligned} \right\}$$

Як базовий математичний апарат досліджень вибрано теорію ланцюгів Маркова з таких міркувань.

1. Властивість високої надійності, яка належить технічним підсистемам ПК (коли значення відношення інтенсивності відмов підсистеми до інтенсивності її відновлювальності менше 0,01), та укрупнення станів їхнього функціонування призводять до того, що час перебування в станах підпроцесу внутрішнього функціонування підпадає під експоненціальне розподілення.

2. Апарат теорії ланцюгів Маркова є найбільш дослідженим та вивченим, простим у використанні та економічним в обчислюваннях з усіх існуючих методів моделювання випадкових процесів. Це є вирішальним аргументом при проведенні багатоваріантних досліджень на ЕОМ.

На основі аналізу різноманітних закінчень процесів функціонування ПК на різних етапах визначаються кінцеві аналітичні співвідношення, які зв'язують показники ефективності експлуатації ПК з достовірними характеристиками можливих станів ПК, етапів його функціонування. Такий підхід до обліку безпеки підсистеми при проектуванні ПК можна представити алгоритмом послідовності виконання робіт (рис. 2).

Методи визначення показників надійності технічних підсистем. Універсальними методами оцінки показників надійності технічних підсистем є статистичні методи, тому що

вони дозволяють отримати прямий ступінь наближення до функціонування підсистеми, використовувати будь-які закони розподілення випадкових величин, мають наглядну достовірну трактовку та просту обчислювальну схему.

Статистичні методи базуються на відтворенні обчислювальними методами реалізацій потоків пригод, які відбуваються в системі. Цей процес повторюється багато разів при заданих фіксованих умовах та початкових даних. Результати кількісних обчислень підтверджуються статистичною обробкою. Ця статистична обробка дозволяє оцінити достовірні характеристики різноманітних величин від реалізації процесу функціонування підсистеми.



Рис. 2. Алгоритм послідовності робіт з обліку безвідмовності підсистем

Аналіз можливих відмов технічних підсистем. В процесі аналізу виявляють причину та умови виникнення можливих відмов, характер їхнього впливу на ефективність та визначають головні характеристики кожного виду відмов. Аналіз виконують для усіх режимів роботи технічної підсистеми, яка досліджується, характерних в моделі, взятій до використання, для всіх функцій, що виконуються, та умов роботи. Види відмов визначаються формою порушення правильного виконання конкретної функції (або декількох) та можуть бути охарактеризовані параметром (або їхньою сукупністю) працездатності.

Відмови підсистеми можуть виникати як за рахунок відмови складових частин, так і за рахунок відмов інших технічних підсистем. Аналогічно ці відмови можуть впливати або не впливати на працездатність складових частин або підсистем. Особливості виникнення визначають режим роботи та характер умов роботи підсистем.

Вплив відмов технічних підсистем на ефективність ПК визначають станами підпроцесу внутрішнього функціонування, серед яких можна виділити два граничних (немає впливу на функціонування ПК при неможливості використання підсистеми) та перехідні стани.

Критерієм відмови є порушення відповідних функцій підсистем, яке визначається за допомогою значень параметрів працездатності. Вимоги до параметрів працездатності підсистеми виражаються у вигляді лімітів, які накладаються на ці параметри, та визначають умови працездатності підсистеми за такими параметрами, як наприклад, $T_1 \leq T \leq T_2$, де T_1 і T_2 – гранично можливі значення параметра працездатності.

Порушення конкретних умов працездатності вказують на знаходження параметрів підсистеми в області відмовних станів. Таким чином, вид відмови технічної підсистеми визначається видом та особливостями порушення конкретної функції (або декількох взаємозв'язаних функцій) цієї підсистеми і може бути охарактеризований параметром (або сукупністю параметрів) працездатності та характером порушень цих умов. Аналіз можливих відмов підсистеми виконують у такій послідовності.

1. Визначають призначення підсистеми, функцій що вона виконує, особливості застосування.

2. Визначають особливості складу та структури підсистеми, в тому числі, кількість та вид складових елементів, характер взаємодії в процесі роботи, місцезнаходження елементів по відсіках, присутність резервних елементів в підсистемі, їхня кількість та вид резервування, можливість заміни або ремонту елементів, які відмовили.

3. Визначають особливості процесу функціонування підсистеми, а також характер та умови роботи, характер впливу інших працюючих підсистем на ту, що досліджується.

4. Визначають характер впливу підсистеми, що досліджується, на ефективність ПК та інші спільно з нею працюючі підсистеми.

5. Для кожної функціональної підсистеми встановлюють відповідні параметри працездатності та їхні гранично допустимі значення для всіх режимів та розрахункових умов роботи, визначають умови працездатності.

6. Складають перелік можливих відмов підсистеми.

7. На основі переліку після виключення відмов, які не впливають на ефективність експлуатації ПК і практично нереальних відмов (при прийнятому схемному, апаратному й конструктивному виконанні) складають перелік розрахункових видів відмов підсистеми, які визначають стан підпроцесу внутрішнього функціонування ПК.

Таким чином, показники підпроцесу внутрішнього функціонування виявляються показниками надійності технічної підсистеми, відмови яких визначають стан підпроцесу.

Список літератури

1. Комаров А.А. Надежность воздушных судов. – К.: КМУГА, 1997. – 414 с.
2. Комаров А.А., Журавлева Л.А. Свойства и возможности эргатической системы “воздушное судно - экипаж - среда”. – К.: КМУГА, 1999. – 246 с.
3. Журавлева Л.А. Проблемы дослідження властивостей та можливостей системи “повітряне судно - екіпаж - середовище”. – К.: КМУЦА, 1999. – 257 с.