УДК 004.056.3

Г.А. Сірченко[1], В.О. Хорошко[1], Ю.Є. Хохлачова[1]

[1] *Національний авіаційний університет, Україна*

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянут показник для оцінки надійності СЗІ та розроблено алгоритм визначення показників для оцінки надійності ССП.
Ключові слова: СЗІ, СПП, математична модель, алгоритм.

Вступ

Науково-технічні проблеми надійності технічних систем займає важливе місце на всіх етапах життєвого циклу систем різного призначення і охоплюють широке коло конструктивних, технологічних, економічних, організаційних та інших напрямів досліджень у різних галузях науки і техніки. Ступінь надійності систем може служити інтегральною характеристикою функціонування їх. Проблеми надійності були, є і будуть актуальними і важливими в процесах розвитку систем спеціального призначення (ССП) та систем захисту інформації (СЗІ).

Особливо проблема надійності є актуальною на сучасному етапі розвитку цих систем, який після промислового етапу розвитку на сьогодні вважається інформаційним, враховуючи наступні факти:

- зросла складність ССП і СЗІ, при цьому такі системи в основному є апаратно-програмними, а вірніше апаратно-інформаційними комплексами;
- розширення номенклатури функцій, що виконуються, а також значно зросла їх роль в предметних областях використання систем;
- широке використання засобів обчислювальної техніки, сучасних інформаційних технологій сприяло значному росту потенційних можливостей систем при розв'язанні різних завдань.

Надійність є властивістю систем зберігати значення своїх основних характеристик у часі і просторі у межах заданих режимів і умов застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. Особливо це важливо для ССП та СЗІ, які входять до їхнього складу.

Основна частина

При оцінці надійності СЗІ необхідно враховувати те, що СЗІ і багатопроцесорні обчислювальні системи забезпечення (БОСЗ), яка є її складовою частиною. єдине ціле, тобто оцінюючи надійність БОСЗ, оцінюється і належності СЗІ і навпаки.

Тому показник для оцінки надійності СЗІ і одночасно ССП повинен враховувати їх перераховані особливості і в окремому випадку (коли не допускається зниження продуктивності) збігатися з показником для оцінки надійності звичайної ЕОМ для того, щоб він дозволяв проводити порівнювальну оцінку надійності різних ССП і звичайних обчислювальних систем. У той же час СЗІ можна рахувати, як ССП [2].

Для аналізу системи розробимо математичну модель якості функціонування. Нехай система складається з *n* елементів. Стани кожного *i-го* елемента *(i = 1, 2, …., n)* описується функцією:

$$X_i(t) = \begin{cases} 1 \\ 0, \end{cases} \tag{1}$$

1 – якщо *i-й* елемент в момент t працездатний; 0 – якщо *i-й* елемент в момент t непрацездатний.

Стан ССП в загальному випадку можна описати вектором:

$$\bar{Z}(t) = \begin{Vmatrix} X_1(t) \\ \ldots\ldots \\ X_n(t) \end{Vmatrix} \tag{2}$$

Позначимо продуктивність ССП в момент часу t, $\Pi_z(t)$, тоді

$$\Pi_z(t) = \Pi[\bar{Z}(t)] \tag{3}$$

Так як стан системи $\bar{Z}(t)$ змінюється у часі випадковим образом, то процес $\Pi[\bar{Z}(t)]$ зміни продуктивності є випадковим. Його можна розглядати як сукупність випадкових функцій $\{\Pi_z(t)\}$, який показує застосування продуктивності ССП при різних змінах її стану Z_t у період експлуатації, або як сукупність випадкових величин, які залежать від параметра t.

Випадковий процес $\Pi[\bar{Z}(t)]$ являється спільною математичною моделлю якості функціонування ССП.

На підстав математичної моделі візьмемо показники якості функціонування ССП. За показник якості функціонування ССП у момент часу t доцільно прийняти найбільш просту функцію, що характеризує випадковий процес зміни продуктивності ССП. Цією функцією є математичне очікування випадкової функції $\Pi_z(t)$, як середнє по безлічі спостережень випадкового процесу $\Pi[\bar{Z}(t)]$ у момент часу t $\Pi(t) = M\{\Pi[\bar{Z}(t)]\}$.

Представляє інтерес середнє значення якості функціонування ССП, яке можна представити у вигляді $\Pi_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^{N} \Pi_j P_j$, де Π_j –продуктивність ССП в *j-тому* стані, P_j – вірогідність *j-того* стану ССП, N – число станів ССП, які відрізняються продуктивністю.

Стан ідеальної (у розумінні безвідмовності) ССП описується вектором $\overline{Z^0}(t) = \begin{Vmatrix} 1 \\ \ldots \\ 1 \end{Vmatrix}$

Отже для ідеальної ССП $\Pi_Z^0(t) = M\{\Pi[\overline{Z^0}(t)]\} = \Pi_{\max}$, $\Pi_{cp}^0 = \Pi_{\max}$, де $\Pi_{\max}$ – максимальна продуктивність ССП. Порівняльну оцінку стану однієї ССП зручно виробляти за допомогою показника продуктивності ССП у вигляді $\alpha(t) = \Pi(t)[\Pi_{max}]^{-1}, \alpha_{cp} = \Pi_{cp}(\Pi_{max})^{-1}$.

Найкращим чином вимогам до показників для оцінки надійності ССП, сформульованим[1,2], відповідають наступні показники:

- переробка на спад продуктивності нижча за рівень α_{mp} (аналог – переробки на відмову) $T_{\alpha_{mp}}$;
- коефіцієнт готовності до роботи з рівнем продуктивності не нижче α_{mp} (аналог – коефіцієнт готовності) $K_{\alpha_{mp}}$;
- вірогідність збереження продуктивності за час t не нижче за рівень α_{mp} (аналог - ймовірності безвідмовної роботи) $P_{\alpha_{mp}}$;
- середній час відновлення до рівня не нижче α_{mp} (аналог – середній час відновлення)і $T_{B\alpha_{mp}}$;
- середній рівень продуктивності (аналогів не має) α_{cp}.

На підставі перевіреного аналізу, приступаємо до розробки математичної моделі процесу зміни стану ССП. Типова ССП складається з чотирьох типів елементів: ядра, процесорних модулів, модулів оперативної пам'яті, каналів зв'язку.

Хай стани ССП відрізняються один від одного рівнем продуктивності α. Тоді число станів ССП визначається числом поєднань безпечних елементів ССП, які забезпечують різні рівні продуктивності.

Приймемо наступні допущення: відмова елементів ССП незалежні; потоки відмов і відновлень елементів ССП прості: контроль стану елементів ССП неперервний й достовірний; відновлення ССП обмежене, першим відновлюється елемент, що забезпечує відновлення невеликої продуктивності ССП, нерухливим станом ССП є стан, який забезпечує продуктивність $\alpha = 100\%$ без резервування.

При прийнятих допущеннях процес зміни стану ССП буде дискретним Марківським процесом з неперервним часом, який описується системою лінійних диференційних рівнянь [3].

Для подальших міркувань приймемо наступні позначення: $H_{\alpha_{mp}}(a,b)$;математичне очікування числа спадів продуктивності ССП нижче за рівень α_{mp} у інтервалі часу $a \leq t \leq b$; $w_{\alpha_{mp}}(t)$ – параметр потока спадів продуктивності нижче за рівень α_{mp}.

Очевидно, що $H_{\alpha_{mp}}(a,b) = H_{\alpha_{mp}}(t_0,b) - H_{\alpha_{mp}}(t_0,a)$ деt_0 – довільний початок відліку.

Напрацювання на спад продуктивності нижче за рівня α_{mp} по аналогії з переробкою на відмову визначається наступним відрізком:

$$T_{\alpha_{mp}}(a,b) = \frac{b-a}{H_{\alpha_{mp}}(t_0,b) - H_{\alpha_{mp}}(t_0,a)} \tag{4}$$

Використовуючи властивість $H_{\alpha_{mp}}(t_0,b) = \int_{t_0}^{b} \omega_{\alpha_{mp}}(t)dt$, отримаємо:

$$T_{\alpha_{mp}}(a,b) = (b-a)\left[\int_{t_0}^{b} \omega_{\alpha_{mp}}(t)dt - \int_{t_0}^{a} \omega_{\alpha_{mp}}(t)dt\right]^{-1} \tag{5}$$

При допущеннях, які: використовувалися при описі математичної моделі процесу зміни станів ССП, $\omega_{\alpha_{mp}}(t) = \omega_{\alpha_{mp}}=const$, тоді $T_{\alpha_{mp}}(a,b) = T_{\alpha_{mp}}={\omega_{\alpha_{mp}}}^{-1}$.

Із великої кількості станів ССП виділимо β – підмножину станів, які відповідають рівню продуктивності не нижче α_{mp} и позначимо його $\beta_{\alpha_{mp}}$.

У підмножині $\beta_{\alpha_{mp}}$. Виділимо підмножину станів ССП з яких можливий безпосередній перехід в стан ССП з більш низьким рівнем продуктивності та позначимо його ${\beta_{\alpha_{mp}}}^{*}$.

З урахуванням прийнятих позначень $\omega_{\alpha_{mp}} = \sum_{i\in{\beta_{\alpha_{mp}}}^{*}} \omega_{{\alpha_{mp}}^{i}} q_{{\alpha_{mp}}^{i}}$ де $\omega_{{\alpha_{mp}}^{i}}$ – інтенсивність виходу з *i-го* стану підмножини ${\beta_{\alpha_{mp}}}^{*}$ в стані ССП с продуктивністю $\alpha < \alpha_{mp;}$ $q_{{\alpha_{mp}}^{i}}$ – умовна вірогідність знаходження ССП в стані підмножини $\beta_{\alpha_{mp}}$.

Із визначення $q_{{\alpha_{mp}}^{i}}$ витікає, що $q_{{\alpha_{mp}}^{i}}=h_{{\alpha_{mp}}^{i}}\left(\sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} h_{{\alpha_{mp}}^{i}}\right)^{-1}$, $h_{{\alpha_{mp}}^{i}}(P_{\alpha=100\%})^{-1}$

де $P_{{\alpha_{mp}}^{i}}$ - стаціонарне значення вірогідності знаходження ССП в *i-тому* стані підмножини $\beta_{\alpha_{mp}}$, $i \in \beta_{\alpha_{mp}}$.

Провівши низку співставлень, остаточно отримуємо

$$T_{\alpha_{mp}} = \left[\sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} \omega_{{\alpha_{mp}}^{i}} h_{{\alpha_{mp}}^{i}} \left(\sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} h_{{\alpha_{mp}}^{i}}\right)^{-1}\right] \tag{6}$$

Коефіцієнт готовності ССП до роботи з рівнем продуктивності не нижче α_{mp}, можна визначити як вірогідність знаходження ССП в довільний момент часу (без обліку планових простоїв) в станів продуктивності не нижче α_{mp}. Відповідно до визначення і припущеннями, прийнятими при формуванні математичного процесу зміни стану ССП $K_{\alpha_{mp}} = P_{\alpha=100\%} \times \sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} h_{{\alpha_{mp}}^{i}}$.

Із умови нормування $\sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} h_{{\alpha_{mp}}^{i}} = 1$, тоді $P_{\alpha=100\%} = \left(\sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} h_{{\alpha_{mp}}^{i}}\right)^{-1}$

З урахуванням останнього отримуємо:

$$K_{\alpha_{mp}} = \sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} h_{\alpha_{mp}i} \times \left(\sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} h_{\alpha_{mp}i}\right)^{-1} \tag{7}$$

при допущеннях, прийнятих раніше $K_{\alpha_{mp}} = T_{\alpha_{mp}}\left(T_{\alpha_{mp}} + T_{\beta\alpha_{mp}}\right)^{-1}$, тоді $T_{\beta\alpha_{mp}} = T_{\alpha_{mp}}\left(1 - K_{\alpha_{mp}}\right)T_{\alpha_{mp}}{}^{-1}$.

Якщо $p_{\alpha_{mp}i}{}^{*}(t)$ – вірогідність знаходження ССП у момент часу t у *i-тому* стані підмножини $\beta_{\alpha_{mp}}$ після виходу з нього, то очевидно наступне:

$$P_{\alpha_{mp}}(t) = \sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} P_{\alpha_{mp}i}{}^{*}(t) \tag{8}$$

Більш зручною з інженерної практики є формула

$$P_{\alpha_{mp}}(t) = exp\left[-t\left(T_{\alpha_{mp}}{}^{1}\right)^{-1}\right] \tag{9}$$

де $T_{\alpha_{mp}}{}^{1}$ – середня переробка до першого спаду продуктивності ССП нижче рівня $T_{\alpha_{mp}}{}^{1}$.

З відомого із теорії надійності виразу введемо наступне [1]:

$$T_{\alpha_{mp}}{}^{1} = \sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} \int_0^\infty P_{\alpha_{mp}}(t)dt \tag{10}$$

Позначимо $C_{\alpha_{mp}i} = \int_0^\infty P_{\alpha_{mp}}{}^{*}(t)dt = \lim \int_0^\infty exp(-st) \times P_{\alpha_{mp}}{}^{*}(t)dt$, тоді

$$P_{\alpha_{mp}}(t) = exp\left[-t\left(\sum_{i\in\beta_{\alpha_{mp}}} C_{\alpha_{mp}i}\right)^{-1}\right] \tag{11}$$

Середній рівень продуктивності

$$\alpha_{cp} = \sum_{i\in\beta} \alpha_i P_i = \sum_{i\in\beta} \alpha_i h_i = \left(\sum_{i\in\beta} h_i\right)^{-1} \tag{12}$$

Алгоритм визначення показників для оцінки надійності ССП:

Крок 1. Одним з можливих методів (аналітичним, шляхом моделювання і ін.) визначаються стан ССП по сполученню відмов елементів, забезпечуючи продуктивність $\alpha \geq \alpha_{mp}\left(\beta_{\alpha_{mp}}\right)$, і той стан, в який можливо безпосередній перехід із підмножини $\beta_{\alpha_{mp}}$, тому, що множина станів β. Із підмножини $\beta_{\alpha_{mp}}$ виокремлюються стани підмножин $\beta_{\alpha_{mp}}{}^{*}$.

Крок 2. Складається графік станів ССП в вузлах якого ставиться номер стану і продуктивність системи в цьому стані (α_i) а по дугах відмічається інтенсивність переходів з одного стану в інший.

Крок 3. По графу на підстав загальноприйнятого способу складається система диференційних рівнянь.

Крок 4. Для визначення $h_{\alpha_i}(i \in \beta_\alpha)$ в початковій системі рівнянь приймається $P_{\alpha_i}(t) = P_{\alpha_i}\frac{\partial P_{\alpha_i(t)}}{\partial t} = 0$, потім всі рівняння діляться почленно на $P_{\alpha\approx100\%}$. Виходить система N рівнянь алгебри відносно h_{α_i}, корінь якої використовується у формулах (6), (7), (12) для визначення показників $T_{\alpha_{mp}}, K_{\alpha_{mp}}, \alpha_{cp}$.

Крок 5. По формулі (6) вираховується показник $T_{\alpha_{mp}}$, по формулі (7) - $K_{\alpha_{mp}}$, по формулі (11) - α_{cp}.

Крок 6. Для визначення $C_{\alpha_{mp}i}$ в початковій системі диференційних рівнянь інтенсивності повернення в стані підмножини $\beta_{\alpha_{mp}}{}^{*}$ приймаємо рівним нулю, виключається для станів з $\alpha < \alpha_{cp}$.

У отриманій системі переходимо від оригіналів до зображень перетворення Лапласа при початковому станів $P_{\alpha\approx100\%}(0) = 1, P_{\alpha_i}(0) = 0\ (d_i \neq 100\%, i \in \beta)$.

Спрямовуємо S до нуля. Отримуємо систему алгебраїчних рівнянь відносно $C_{\alpha_{mp}i}$.

З отриманої системи рівнянь визначаються $C_{\alpha_{mp}}{}^{i}\left(i \in \beta_{\alpha_{mp}}\right)$, які використовуються у формулі (11) для визначення показника $P_{\alpha_i}(t)$.

Висновки

Розроблений алгоритм визначення показників для оцінки надійності ССП дозволяє надійно та просто провести оцінку стану системи. Визначені показники дозволяють спрогнозувати роботу не тільки самої системи, а і її підсистем та елементів.

Література

1. Головань С.М. Основи надійності інформаційних систем / Головань С.М., Корнейко О.В., Петров О.С., Хорошко В.О., Щербак Л.М. – Луганськ: Вид. «Науліджь», 2012. – 335 с.
2. Коваленко И.Н. Методы расчета высоко-надежных систем / Коваленко И.Н., Кузнецов Н.Ю. – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.
3. Креденцер Б.П. Прогнозирование надежности с временной избыточностью / Креденцев Б.П. – К.: Наукова думка, 1978. – 238 с.

Надійшла до редколегії 28.07.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Петров А.С.

Г.А. Сирченко, В.А. Хорошко, Ю.Е. Хохлачова

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрен показатель для оценки надежности СЗИ и разработан алгоритм определения показателей для оценки надежности ССН.

Ключевые слова: СЗИ, ССН, математическая модель, алгоритм.

G.A.Sirchenko, V.A.Horoshko, Yu.E.Hokhlachova

ALGORITHM FOR INDICATORS FOR RELIABILITY ASSESSMENT OF SPECIAL PURPOSE

Considered an indicator to assess the reliability of GIS and the algorithm of determination of indicators for assessing the reliability of the CLO.

Keywords: GIS, CLO, mathematical model, algorithm.