

УДК 656.25

КЛИМЕНКО К.С., к.т.н., доцент,  
КЛИМЕНКО Л.А., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ)

## Використання марківських кіл для розрахунку показників функційної безпечності дубльованих відновлювальних систем з періодичним контролем

*Запропоновано методику розрахунку показників функційної безпечності дубльованих, мікропроцесорних, відновлювальних систем керування з періодичним контролем та самодіагностуванням.*

**Ключові слова:** функційна безпечність й надійність, коло Маркова, ймовірність небезпечної відмови, коефіцієнт готовності до безпечної роботи

### Вступ

В теперішній час на залізницях України на зміну релейним системам керування рухом поїздів приходять мікропроцесорні системи. Ці системи мають переваги, насамперед, вони більш функціональні за релейні та дозволяють: підвищити якісні показники функціонування, поліпшити умови праці чергових по станції й обслуговуючого персоналу; зменшити вплив людського фактора на безпеку руху поїздів за рахунок використання нових інформаційних, функційних і технологічних можливостей сучасних обчислювальних засобів. Але впровадження мікропроцесорних систем повинно здійснюватися з обов'язковим доказом функційної безпечності. Доказ слід починати на стадії проектування системи, коли розробляються загальні принципи побудови системи та концепція й програма досягнення функційної безпечності. Для визначення структури системи, вимог щодо надійності технічних засобів, періодичності самоконтролю і самодіагностики та інших параметрів функціонування системи необхідно використати методи математичного моделювання і прогнозування.

### Аналіз публікацій

Доказ функційної безпечності й надійності мікропроцесорних систем ґрунтується на обліку та підтвердженні виконання вимог, регламентованих у нормативних документах, що діють в Україні. Аналітичні методи використовуються для кількісної імовірнісної оцінки безпечного функціонування системи при відмовах технічних засобів. Згідно [1], для оцінювання безпечного функціонування системи використовується такий показник, як ймовірність небезпечної відмови за кожну годину на одну відповідальну функцію. На стадії розроблення

показник очікуваної функційної безпечності системи одержується розрахунковими методами. На стадії запровадження у виробництво функційну безпечність системи визначають експериментальними або розрахунковими методами. На стадії серійного випуску – експериментальними методами, а у випадках неможливості чи техніко-економічної недоцільності застосування експериментальних методів використовують розрахунково-експериментальні методи.

Для відновлюваних систем згідно вимог [3], додатково для оцінки функційної безпечності можливо використовувати такі показники: середній наробіток на небезпечну відмову (середній наробіток між небезпечними відмовами); параметр потоку небезпечних відмов; коефіцієнт і функція готовності до безпечної роботи.

Розрахунок імовірнісних показників функційної безпечності й надійності для систем залізничної автоматики здійснюється за методикою, що наведена у [3] та базується на застосуванні розрахунково-логічних схем. Представлена методика аналітичного розрахунку не дозволяє врахувати такі технічні рішення як: перехресний контроль; резервування не всього обчислювального каналу або підсистеми, а тільки процесорного вузла та інші.

### Постановлення задачі

Для доказу функційної безпечності аналітичним методом необхідно визначитись з методикою розрахунку, яка б дозволила враховувати: особистості структури мікропроцесорної системи, періодичність діагностування, час відновлення системи.

### Результати досліджень

Підвищення функційної безпечності мікропроцесорних систем керування, які пов'язані з

© К.С. Клименко, Л.А. Клименко, 2013

безпекою руху поїздів, здійснюється за рахунок використання таких технічних способів та організаційних заходів: дублювання роботи обчислювальних каналів; періодичний контроль та самодіагностування, які дозволяють підвищити коефіцієнт готовності до безпечної роботи за рахунок зменшення часу відновлення; переведення системи в захисний стан при виявленні відмови хоча б в одному обчислювальному каналі, доки не буде повністю відновлена робота технічних засобів; відновлення роботи та виведення системи з захисного стану здійснюється тільки технічним персоналом.

Визначення математичного опису випадкових процесів в системі при впливі відмов здійснюється з урахуванням таких обмежень: випадкові процеси в системі при впливі відмов – це процеси без наслідків; система має дискретні стани; перехід із стану в стан можливий у будь-який випадковий момент часу. Тоді випадковий процес поведінки системи при впливі відмов можливо представити як Марківський процес з дискретними станами та неперервним часом.

Для побудови кола Маркова та розрахунку показників функційної безпечності пропонується розглянути такі стани системи:

$S_1$  – технічні засоби двох обчислювальних каналів дубльованої системи працездатні та система функціонує безпечно;

$S_2$  – технічні засоби одного обчислювального каналу відмовили, а другого – працездатні, та система знаходиться у безпечному стані;

$S_3$  – технічні засоби одного обчислювального каналу відмовили, а другого – працездатні, та система переведена у захисний стан за допомогою засобів періодичного контролю та самодіагностики, які локалізували відмову обчислювального каналу, що непрацездатний;

$S_4$  – технічні засоби двох обчислювальних каналів відмовили та система перейшла у небезпечний стан.

На першому етапі розробляється коло Маркова без урахування відновлення системи у вигляді графа, наведеного на рисунку 1 ( $\lambda_k$  – інтенсивність відмови технічних засобів одного обчислювального каналу;  $u$  – інтенсивність виконання періодичного контролю та самодіагностування).

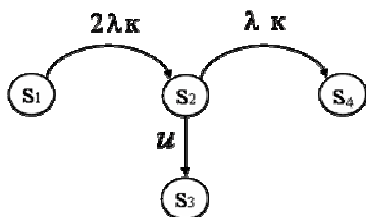


Рисунок 1 – Граф станів системи

На другому етапі розробляється коло Маркова з урахування відновлення системи у вигляді графа, наведеного на рисунку 2 ( $\lambda_k$  – інтенсивність відмови технічних засобів одного обчислювального каналу;  $u$  – інтенсивність виконання періодичного контролю та самодіагностування;  $\mu$  – інтенсивність відновлення).

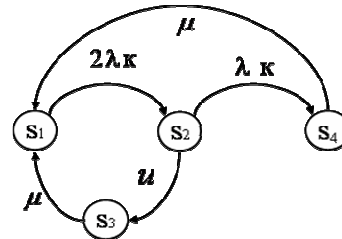


Рисунок 2 – Граф станів системи

Математичний опис запропонованих кіл Маркова, що представлені у вигляді графів на рисунках 1 і 2, пропонується здійснити за допомогою рівнянь Колмогорова, але при виконанні наступних обмежень до потоку небезпечних відмов: забезпечення стаціонарності, при якій імовірність небезпечної відмови на інтервалі часу залежить тільки від величини цього інтервалу і не залежить від розміщення цього інтервалу на осі часу; забезпечення відсутності післядії, при якій небезпечні відмови, що створюють потік, з'являються в послідовні моменти часу незалежно одна від одної; забезпечення ординарності, при якій небезпечні відмови відбуваються ізольовано та ймовірність виникнення більш однієї небезпечної відмови за малий проміжок часу дорівнює нулю, тобто в один момент часу поява більш однієї небезпечної відмови відбутися не може.

За графом, представленим на рисунку 1, складена система диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} dP_1(t)/dt = -2\lambda_k P_1(t); \\ dP_2(t)/dt = 2\lambda_k P_1(t) - (u + \lambda_k)P_2(t); \\ dP_3(t)/dt = uP_2(t); \\ dP_4(t)/dt = \lambda_k P_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

де  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ ,  $P_3(t)$  і  $P_4(t)$  – імовірності перебування системи у відповідному стані;  $u = 1/T_d$  – інтенсивність виконання періодичного контролю та самодіагностування;  $T_d$  – час, через який здійснюється періодичний контроль та самодіагностування.

Початкові умови: при  $t = 0$

$$\begin{aligned} P_1(t=0) &= P_1(0) = 1; \\ P_2(t=0) &= P_2(0) = 0; \\ P_3(t=0) &= P_3(0) = 0; \\ P_4(t=0) &= P_4(0) = 0. \end{aligned}$$

Оскільки стани  $S_1, S_2, S_3$  і  $S_4$  становлять повну групу подій, тому

$$P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1.$$

Щоб визначити показники функційної безпечності з урахування відновлення системи для графа, представленого на рисунку 2, складається система диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} dP_1(t)/dt = -2\lambda_k P_1(t) + \mu P_3(t) + \mu P_4(t); \\ dP_2(t)/dt = 2\lambda_k P_1(t) - \lambda_k P_2(t); \\ dP_3(t)/dt = u P_2(t) - \mu P_3(t); \\ dP_4(t)/dt = \lambda_k P_2(t) - \mu P_4(t), \end{cases} \quad (2)$$

де  $\mu = 1/T_v$  - інтенсивність відновлення;  $T_v$  - час, відновлення.

Початкові умови аналогічні, як для системи рівнянь (1).

Розв'язавши систему рівнянь (2), можливо визначити ймовірності небезпечної відмови на одну відповідальну функцію безпеки при впливі відмов та коефіцієнт готовності до безпечної роботи за формулами:

$$Q_{НВ} = \frac{2 \cdot \lambda_k^2}{2 \cdot \lambda_k^2 + 3 \cdot \lambda_k \cdot \mu_k + 2 \cdot \lambda_k \cdot u_k + \mu_k \cdot u_k}; \quad (3)$$

$$K_{БР} = \frac{(\lambda_k + u_k) \cdot \mu_k + 2 \cdot \lambda_k \cdot \mu_k + 2 \cdot \lambda_k \cdot u_k}{2 \cdot \lambda_k^2 + 3 \cdot \lambda_k \cdot \mu_k + 2 \cdot \lambda_k \cdot u_k + \mu_k \cdot u_k}, \quad (4)$$

де  $Q_{НВ}$  - ймовірність небезпечної відмови на одну відповідальну функцію безпеки при впливі відмов;  $K_{БР}$  - коефіцієнт готовності до безпечної роботи.

### Висновки

Запропоновано методику розрахунку показників функційної безпечності дубльованих мікропроцесорних систем керування дозволяє розраховувати показники функційної безпечності з урахуванням відновлення системи, використання періодичного контролю і самодіагностування та переведення системи в безпечний стан при виявленні відмов технічних засобів.

### Література

1. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність та надійність. Вимоги та методи випробування.
2. ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности (Надійність у техніці. Склад і загальні правила завдання вимог з надійності).
3. Методика доказу функціональної безпеки мікроелектронних комплексів систем керування та регулювання руху поїздів // ЦШ Державної адміністрації залізничного транспорту України; Київ. - 2002.

### Резюме

Предложено методику расчета показателей функциональной безопасности дублированных, микропроцессорных, восстанавливаемых систем управления с периодическим контролем и самодиагностированием.

The method of calculation of indices of functional safety of dubbed, microprocessor, restorable control systems with periodic control and self-diagnostics has been offered.

**Key words:** functional safety and reliability, Markov's chain, probability of dangerous failure, coefficient of readiness to safe operation

*Рецензент д.т.н., професор Загарій Г.І. (УкрДАЗТ)*

*Поступила 12.03.2013 р.*