

УДК 519.248

І. І. МОСКВІНА¹, Т. О. СТЕФАНОВИЧ², С. В. ЩЕРБОВСЬКИХ²¹ *Бердянський державний педагогічний університет, Україна*² *Національний університет «Львівська політехніка», Україна***ВРАХУВАННЯ ПОМИЛОК ПЕРШОГО ТА ДРУГОГО РОДУ ПЕРЕМИКАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ СИСТЕМИ ІЗ ХОЛОДНИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ**

У статті запропоновано модель надійності для визначення ймовірності безвідмовної роботи дубльованої системи із холодним резервуванням та неідеальним перемикальним пристроєм. Особливість моделі полягає у тому, що в ній адекватно враховано появу помилок першого та другого роду для перемикального пристрою. Надійність системи математично описано двоохтермінальним динамічним деревом відмов, а ймовірнісні характеристики системи визначено за однорідною марковською моделлю. Кількісно показано як збільшення параметрів, які відповідають цим помилкам, призводить до зниження ймовірності безвідмовної роботи системи.

Ключові слова: *модель надійності, динамічне дерево відмов, марковська модель, холодне резервування, перемикальний пристрій, помилка першого роду, помилка другого роду.*

Вступ. Постановка проблеми

Одним із способів підвищення надійності технічних систем є застосування структурного резервування. Суть такого резервування полягає у тому, що в структуру системи вводять надлишкові резервні елементи. Ці елементи у випадку відмови основних елементів системи після відповідного перемикання виконують їх функції. Найефективнішим типом структурного резервування є холодне резервування. За такого резервування надлишкові елементи перебувають у неавантаженому режимі, до того часу, поки основні елементи працездатні. Перемикальний пристрій здійснює підключення резервних елементів для випадку, коли основні елементи втратили працездатність. Під час аналізу надійності таких систем одним із важливих факторів є врахування впливу самого перемикального пристрою на показники надійності системи. Цей вплив може проявлятися у помилках першого і другого роду. Під помилкою першого роду розуміємо хибне спрацювання перемикального пристрою. Це означає, що основний елемент працездатний, але перемикальний пристрій «вирішив», що цей елемент непрацездатний, і підключив резервний елемент. Під помилкою другого роду розуміємо пропуск перемикальним пристроєм моменту спрацювання. Це означає, що основний елемент відмовив, але перемикальний пристрій «вирішив», що цей елемент працездатний, і не підключив резервний елемент. Обидві помилки призводять до зниження надійності системи та недовикористання її ресурсу. Стаття присвячена проблемі формалізації та аналізу впливу похибок першого та другого

роду перемикального пристрою на надійність систем із холодним резервуванням. Дана проблема актуальна під час проектування та експлуатації електротехнічних, механічних та радіоелектронних систем відповідального призначення.

1. Огляд літературних джерел

Для розв'язання поставленої проблеми у літературі запропоновано два основних підходи. Перший підхід, який описано у роботах [1, 2], ґрунтується на застосуванні елементів логіко-ймовірнісного методу. Відповідно до цього підходу у структурі системи послідовно до резервних елементів вводять умовний елемент, який відповідає перемикальному пристрою. До різновиду цього підходу слід також віднести метод, який ґрунтується на спрощених емпіричних формулах, описаний у роботі [3]. Недолік підходу полягає у тому, що помилка першого роду у такий спосіб не можна врахувати, а помилка другого роду враховується у першому наближенні. Другий підхід базується на побудові графа станів та переходів системи і подальшому його аналізі за допомогою марковської моделі або методу Монте-Карло. У межах цього підходу виділяємо кілька способів його застосування. Для простих систем побудову моделі можна здійснити вручну, як це показано у статті [4]. У роботах [5–8] граф станів та переходів для систем такого типу будують за допомогою технології моделювання систем із елементами, які перебувають у багатьох станах. У роботах [9–12] для розв'язання цієї задачі пропонують застосовувати дерева відмов у поєднан-

ні із логічними функціями масштабування. Хоча вказані підходи потенційно прийнятні для розв'язання поставленої проблеми, за результатами огляду літературних джерел не знайдено математичних моделей надійності технічних систем, в яких одночасно враховано вплив помилок першого і другого роду для перемикального пристрою в системах із холодним резервуванням.

2. Задачі дослідження

- формалізувати надійність системи із холодним резервуванням та перемикальним пристроєм на основі динамічного дерева відмов;
- побудувати марковську модель системи;
- проаналізувати вплив помилок першого і другого роду на характеристики надійності системи.

3. Опис системи та її динамічне дерево відмов

До складу системи входять основний генератор G1 та резервний генератор G2, які сполучені паралельно. До вихідних затискачів генераторів під'єднано перемикальний пристрій SA (рис. 1).

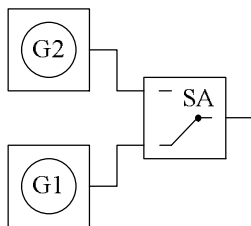


Рис. 1. Структурна схема системи

Система працює таким чином. У початковому стані перемикальний пристрій SA сполучає основний генератор G1 із вихідною шиною, а резервний G2 – роз'єднує. Основний генератор G1 перебуває у навантаженому режимі, а резервний G2 – у холодному. Після відмови основного генератора G1 перемикальний пристрій SA діагностує його відмову та переключач вихідну шину із основного генератора G1 на резервний G2, який переходить у навантажений режим. Перемикальний пристрій SA допускає помилки першого та другого роду. Якщо пристрій помилково діагностує відмову основного генератора G1, то вихідна шина із основного генератора G1 буде переключена на резервний G2. У такому стані основний генератор G1 перейде у ненавантажений режим і далі буде незатребуваним, а резервний G2 – у навантажений. Якщо перемикальний пристрій пропустить відмову основного генератора G1, то відбудеться відмова системи і резервний

генератор G2 так і залишиться незатребуваним. Вважаємо, що ремонтування елементів відсутнє. З точки зору надійності система виконує дві функції. Первинна функція полягає у забезпеченні пересилання енергії від генераторів G1 і G2 на вихідну шину, а вторинна – у відслідковуванні перемикальним пристроєм SA моменту відмови основного генератора G1.

Формалізуємо надійність системи двохтермінальним динамічним деревом відмов, структура якого подана на рис. 2.

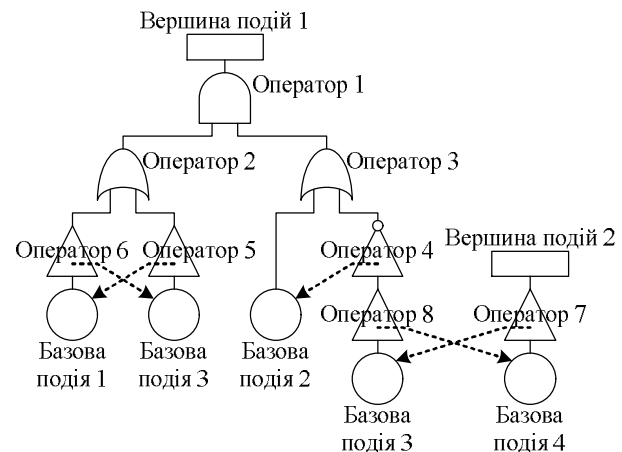


Рис. 2. Динамічне дерево відмов системи

K-термінальне динамічне дерево відмов є математичною моделлю, яка описує умову непрацездатності системи за кожною її функцією та умови зміни навантаження між її елементами на основі блоків, які позначають логічні операції. У даній моделі вважаємо, що перемикальний пристрій складено із силових контактів, які комутують затискачі генераторів із вихідною шиною, та блока керування, який діагностує працездатність основного генератора і дає команду силовим контактам на перемикання. Непрацездатність системи за первинною функцією позначено блоком «Вершина подій 1». Така непрацездатність настає, якщо обидва генератори не виконують свою функцію, що описує блок «Оператор 1», тип якого задано логічною операцією І. Основний генератор G1 не виконує свою функцію, якщо він непрацездатний або контакти перемикального пристрою SA підключені до затискачів резервного генератора G2, що описує блок «Оператор 2», тип якого задано логічною операцією АБО. У свою чергу, резервний генератор G2 не виконує свою функцію, якщо він непрацездатний або контакти перемикального пристрою SA підключені до затискачів основного генератора G1, що описує блок «Оператор 3», тип якого задано логічною операцією АБО. Для опису інверсного стану контактів застосо-

вано блок «Оператор 4», тип якого задано логічною операцією NI . Непрацездатність основного і резервного генераторів $G1$ і $G2$ описано блоками «Базова подія 1» і «Базова подія 2», а їх напрацювання до відмови розподілено за експоненціальним законом із параметрами λ_1 та λ_2 . Стан контактів перемикального пристрою SA описано блоком «Базова подія 3». Підключення до затискачів основного генератора $G1$ задано логічним значенням ХИБНО , а до затискачі резервного $G2$ – логічним значенням ІСТИННО . Випадковий процес хибного перемикавання із затискачів основного генератора на затискачі резервного, який призводить до помилки першого роду, розподілено за експоненціальним законом із параметром λ_3 .

Непрацездатність системи за вторинною функцією позначена блоком «Вершина подій 2». Така непрацездатність настає внаслідок нездатності перемикального пристрою перекомутувати затискачі генераторів. Її можуть спричинити, по-перше, відмова блока керування перемикальним пристроєм, та, по-друге, «заліпання» силових контактів на затискачах основного генератора. Ці події об'єднано у блок «Базова подія 4». Вважаємо, що процес, який описує збереження здатності перемикавання, розподілений за експоненціальним законом із параметром λ_4 .

У системі відбувається п'ять динамічних процесів, для опису яких в структуру динамічного дерева відмов введено блоки, що є повторювачами логічних сигналів. В яких блоках задано умови зміни навантаження.

Для опису зміни навантаження основного та резервного генераторів залежно від положення контактів перемикального пристрою використано блоки «Оператор 4» та «Оператор 5». Якщо на виході блока «Оператор 4» одержуємо після інверсії логічний сигнал ІСТИННО , тобто контакти перемикального пристрою підключені до затискачів основного генератора $G1$, то інтенсивність напрацювання резервного генератора $G2$, заданого блоком «Базова подія 2», встановлюємо рівною 0. Якщо на виході блока «Оператор 5» одержуємо логічний сигнал ІСТИННО , тобто контакти перемикального пристрою підключені до затискачів резервного генератора $G2$, то інтенсивність напрацювання основного генератора $G1$, заданого блоком «Базова подія 1», встановлюємо рівною 0. Перша умова необхідна для опису алгоритму холодного резервування, а друга – для відключення основного генератора після настання помилки першого роду.

Для опису логіки, закладеної у роботу перемикального пристрою, введено блоки «Оператор 6», «Оператор 7» та «Оператор 8» і задано три умови.

Перша умова: якщо на виході блока «Оператор 6» одержуємо логічний сигнал ІСТИННО , тобто

основний генератор $G1$ непрацездатний, то інтенсивність процесу перемикавання, заданого блоком «Базова подія 3», зростає в k разів. Таким чином, процес перемикавання, який до настання описаної умови, був джерелом помилки першого роду, тепер навпаки прискорюється, щоб ввести резервний генератор замість непрацездатного основного.

Друга умова: якщо на виході блока «Оператор 7» одержуємо логічний сигнал ІСТИННО , тобто наступила нездатність перемкнути контакти, то інтенсивність процесу перемикавання, заданого блоком «Базова подія 3», встановлюємо рівною 0. Як результат, після відмови основного генератора відбудеться помилка другого роду.

Третя умова: якщо на виході блока «Оператор 8» одержуємо логічний сигнал ІСТИННО , тобто контакти перемкнулись на резервний генератор $G2$, то інтенсивність процесу збереження здатності до перемикавання, заданого блоком «Базова подія 4», встановлюємо рівною 0, оскільки такий процес стає незатребуваним.

4. Марковська модель системи

На основі поданого вище двохтермінального динамічного дерева відмов згідно із формалізованими правилами [12] складено граф станів і переходів системи (рис. 3), параметри якого зведено у таблицю. Процес напрацювання основного генератора $G1$ позначено як P_1 , резервного генератора $G2$ – P_2 , процес перемикавання контактів – P_3 та процес збереження здатності до перемикавання – P_4 .

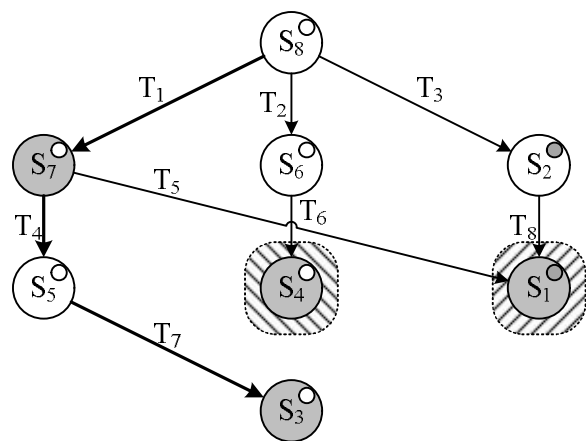


Рис. 3. Граф станів та переходів системи

На рис. 3 працездатні стани зафарбовані білим кольором, а непрацездатні – сірим. Велике коло відображає стан системи за первинною функцією, а мале – за вторинною. Система перебуває у восьми станах, із яких чотири відповідають працездатності за первинною функцією – S_2, S_5, S_6 і S_8 та шість за

Таблиця

Параметри моделі станів та подій системи

| № | Опис станів | | | | | | | | Опис подій | | |
|----|----------------|----------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Поч. стан | Графічний опис стану | Коефіцієнти масштабування | | | | y ₁ | y ₂ | Назва події | Заверш. процес | Кінц. стан |
| | | | P ₁ | P ₂ | P ₃ | P ₄ | | | | | |
| 1 | S ₈ | | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | T ₁ | P ₁ | S ₇ |
| 2 | | | | | | | | | T ₂ | P ₃ | S ₆ |
| 3 | | | | | | | | | T ₃ | P ₄ | S ₂ |
| 4 | S ₇ | | 0 | 0 | k | 1 | 0 | 1 | T ₄ | P ₃ | S ₅ |
| 5 | | | | | | | | | T ₅ | P ₄ | S ₁ |
| 6 | S ₆ | | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | T ₆ | P ₂ | S ₄ |
| 7 | S ₅ | | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | T ₇ | P ₂ | S ₃ |
| 8 | S ₄ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | - | - | - |
| 9 | S ₃ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | - | - | - |
| 10 | S ₂ | | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | T ₈ | P ₁ | S ₁ |
| 11 | S ₁ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |

вторинною – S₃–S₈. Граф містить три поглинаючих та один транзитний стан, які відповідають непрацездатності системи за первинною функцією. У стані S₃ непрацездатні обидва генератори, тобто система цілком використала свій ресурс. У стані S₁ непрацездатний основний генератор, а резервний внаслідок помилки другого роду залишився працездатним. У стані S₄ навпаки непрацездатний резервний генератор, а основний внаслідок помилки першого роду залишився працездатним. Обидва стани S₁ і S₄ відповідають недовикористанню ресурсу системи внаслідок помилки пристрою перемикачів. За формальними ознаками транзитний стан S₇ також відповідає недовикористанню ресурсу системи за резервним генератором подібно до помилки другого роду. Оскільки система перебуває у цьому стані протягом часу, який необхідний для перемикачів з основного генератора на резервний, то його вплив на ймовірнісні характеристики є нехтовно малим.

У системі відбувається вісім подій, із яких п'ять спричиняють непрацездатність за першою функцією T₁, T₅–T₈ та дві за другою – T₃ і T₅. Параметрами станів є значення коефіцієнтів масштабування для процесів P₁–P₄ та логічна функція працездатності за кожною із функцій, яка набуває значення «1», якщо система працездатна, і «0» – якщо ні. Параметрами подій є назва початкового стану, назва процесу, який завершився, та назва кінцевого стану.

Грунтуючись на графі станів та переходів системи складено рівняння Колмогорова – Чепмена:

$$\frac{d}{dt} p(t) = A p(t), \quad (1)$$

$$y(t) = C p(t).$$

де t – час;

$p(t)$ – вектор, що містить функції ймовірності станів;

A – матриця, яка задає інтенсивності переходів між станами;

$y(t)$ – вектор, який містить досліджувані функції ймовірності;

C – матриця, яка зв'язує функції ймовірності станів $p(t)$ із функціями ймовірності $y(t)$.

Для розв'язування цієї системи рівнянь задають вектор початкових ймовірностей станів $p(0)$.

5. Аналіз впливу помилок першого та другого роду на ймовірність безвідмовної роботи системи

На основі марковської моделі обчислено сімейство кривих ймовірності безвідмовної роботи системи. Під час аналізу впливу помилок першого та другого роду важливим є не абсолютне значення кожного із параметрів, а співвідношення параметрів генераторів із параметрами перемикального пристрою, тому обчислення доцільно виконувати у відносних одиницях. За базову величину прийнято інтенсивність відмов основного генератора $\lambda_1 = 1$. Вважаємо, що резервний та основний генератори однакові за технічними характеристиками, тому $\lambda_2 = 1$. Задаємо відношення інтенсивності хибного

перемикання λ_3 до середньої тривалості перемикання як $k = 100\,000$. Значення цього відношення обернено пропорційне інерційності руху контактів перемикального пристрою і, в граничному випадку, має прямувати до нескінченності.

На рис. 4а подано сімейство кривих ймовірності безвідмовної роботи системи для різних значень параметра λ_3 , який відповідає помилці першого роду, за умови $\lambda_4 = 1$. Зокрема, крива 1 відповідає значенню $\lambda_3 = 0.25$, крива 2 – $\lambda_3 = 0.5$, крива 3 – $\lambda_3 = 0.75$, крива 4 – $\lambda_3 = 1$, крива 5 – $\lambda_3 = 2$, крива 6 – $\lambda_3 = 5$, крива 7 – $\lambda_3 = 10$ та крива 8 – $\lambda_3 = 100$. На рис. 4б подано сімейство кривих ймовірності безвідмовної роботи системи для різних значень параметра λ_4 , який відповідає помилці другого роду, за умови $\lambda_3 = 1$. Зокрема, крива 1 відповідає значенню $\lambda_4 = 0$, крива 2 – $\lambda_4 = 0.5$, крива 3 – $\lambda_4 = 1$, крива 4 – $\lambda_4 = 2$, крива 5 – $\lambda_4 = 5$, крива 6 – $\lambda_4 = 10$ та крива 7 – $\lambda_4 = 100$.

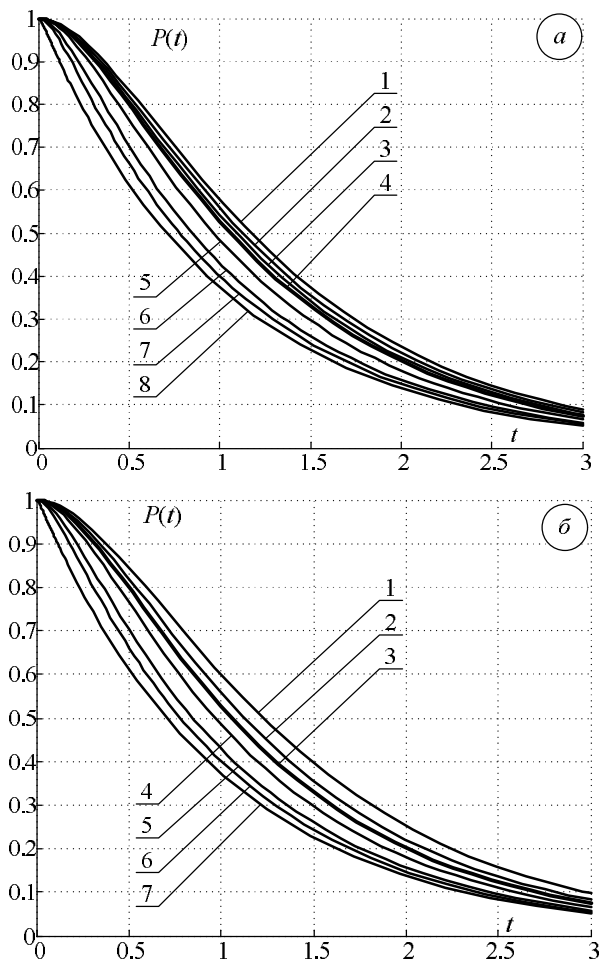


Рис. 4. Сімейство кривих ймовірності безвідмовної роботи системи, які показують вплив помилки перемикального пристрою:
а – першого роду, б – другого роду

Характеристика, яка відповідає умові $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$ позначена на рис. 4а, як крива 4, а на рис. 4б, як крива 3. Вона є базовою для співставлення кривих, поданих на рис. 4а та 4б. Обидва параметри λ_3 та λ_4 можуть набувати значень у діапазоні від 0 до ∞ , де значення 0 відповідає відсутності впливу помилки, а значення ∞ – абсолютному прояву цієї помилки. Як видно із рис. 4 при покроковому збільшенні значень параметрів λ_3 та λ_4 ймовірність безвідмовної роботи системи зменшується.

Коректність запропонованої моделі підтверджено тим, що за умови прямування параметрів λ_3 та λ_4 до граничних значень, ймовірність безвідмовної роботи системи прямує до очікуваних граничних характеристик. Якщо $\lambda_3 = 0$ і $\lambda_4 = 0$, то ймовірність безвідмовної роботи системи визначатиметься виразом для заміщувального резервування. Якщо $\lambda_3 = \infty$ і $\lambda_4 = 0$, то ймовірність безвідмовної роботи системи визначатиметься безвідмовністю резервного генератора G2. Якщо $\lambda_3 = 0$ і $\lambda_4 = \infty$, то ймовірність безвідмовної роботи системи визначатиметься безвідмовністю основного генератора G1.

Висновки

У статті розроблено математичну модель надійності, яка враховує помилки першого та другого роду перемикального пристрою для системи із холодним резервуванням. Така модель призначена для визначення ймовірності безвідмовної роботи системи. Надійність системи математично описано двохтермінальним динамічним деревом відмов, в якому задано логічні умови взаємодії між генераторами, а також генераторами та перемикальним пристроєм. Ймовірнісні характеристики системи визначено за однорідною марковською моделлю, яка сформована на основі дерева відмов. За допомогою марковської моделі проаналізовано, як впливають помилки першого та другого роду на ймовірнісні характеристики системи. Показано, що при збільшенні значення параметрів, які відповідають цим помилкам, зменшується ймовірність безвідмовної роботи системи у визначених межах. Подальші дослідження скеровані на розроблення моделі надійності системи із теплим резервуванням, яка адекватно враховуватиме вплив помилок першого та другого роду перемикального пристрою.

Література

1. Дружинин, Г. В. Надежность автоматизированных систем [Текст] / Г. В. Дружинин. – М. : «ЭНЕРГИЯ», 1977. – 536 с.
2. Mostafa Abouei Ardakan. Reliability optimization of series-parallel systems with mixed redundancy strategy in subsystems [Text] / Mostafa

Abouei Ardakan, Ali Zeinal Hamadani // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2014. – Vol. 130. – P. 132–139.

3. Ушаков, И. А. Курс теории надежности систем [Текст] : учебное пособие / И. А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с.

4. Надежность дублированных вычислительных комплексов [Текст] / В. А. Богатырев, С. А. Башкова, В. Ф. Беззубов, А. В. Полякова, Е. Ю. Котельникова, И. Ю. Голубев // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2011. – № 6 (76). – С. 76–80.

5. Волочий, Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем [Текст] / Б. Ю. Волочий. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2004. – 219 с.

6. Zamalieva, Daniya. A probabilistic model for online scenario labeling in dynamic event tree generation [Text] / Daniya Zamalieva, Alper Yilmaz, Tunc Aldemir // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2013. – Vol. 120. – P. 18–26.

7. Zamalieva, Daniya. Online scenario labeling using a hidden Markov model for assessment of nuclear plant state [Text] / Daniya Zamalieva, Alper Yilmaz, Tunc Aldemir // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2013. – Vol. 110. – P. 1–13.

8. Conception of Repairable Dynamic Fault Trees and resolution by the use of RAATSS, a Matlab® toolbox based on the ATS formalism [Text] / G. Manno, F. Chiacchio, L. Compagno, D. D'Urso, N. Trapani // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2014. – Vol. 121. – P. 250–262.

9. Codetta-Raiteri, Daniele. Integrating several formalisms in order to increase Fault Trees' modeling power [Text] / Daniele Codetta-Raiteri // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2011. – Vol. 96, No 5. – P. 534–544.

10. Москвіна, І. І. Врахування помилок першого та другого роду перемикального пристрою для системи із гарячим резервуванням [Текст] / І. І. Москвіна, Т. О. Стефанович, С. В. Щербовських // *Технологічний аудит та резерви виробництва*. – 2015. – Том 5, № 2(25). – С. 54–59.

11. Stefanovych, T. The reliability model for failure cause analysis of pressure vessel protective fittings with taking into account load-sharing effect between valves [Text] / T. Stefanovych, S. Shcherbovskykh, P. Drozdziel // *Diagnostyka*. – 2015. – Vol. 16, No. 4. – P. 17–24.

12. Щербовських, С. В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження: монографія [Текст] / С. В. Щербовських. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 296 с.

2. Mostafa Abouei Ardakan, Ali Zeinal Hamadani. Reliability optimization of series-parallel systems with mixed redundancy strategy in subsystems. *Reliability Engineering & System Safety*, 2014, vol. 130, pp. 132–139.

3. Ushakov, I. A. *Kurs teorii nadezhnosti sistem: uchebnoe posobie* [Course of system reliability foundation: teaching materials], Moscow, Drofa, 2008. 239 p.

4. Bogatyrev, V., Bashkova, S., Bezzubov, V., Polyakova, A., Kotelnikova, E., Golubev, I. Nadezhnost' dublirovannykh vychislitel'nykh kompleksov [Reliability of the duplex computer complexes]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2011, no. 6 (76), pp. 76–80.

5. Volochiy, B. *Tekhnolohiya modelyuvannya alhorytmiv povedinky informatsiynykh system* [The technology of modelling of information system behavior algorithm], Lviv, Lviv Polytechnic Press Publ., 2004, 219 p.

6. Zamalieva, Daniya, Yilmaz, Alper, Aldemir, Tunc. A probabilistic model for online scenario labeling in dynamic event tree generation. *Reliability Engineering & System Safety*, 2013, vol. 120, pp. 18–26.

7. Zamalieva, Daniya, Yilmaz, Alper, Aldemir, Tunc. Online scenario labeling using a hidden Markov model for assessment of nuclear plant state. *Reliability Engineering & System Safety*, 2013, vol. 110, pp. 1–13.

8. Manno, G., Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Trapani, N. Conception of Repairable Dynamic Fault Trees and resolution by the use of RAATSS, a Matlab® toolbox based on the ATS formalism. *Reliability Engineering & System Safety*, 2014, vol. 121, pp. 250–262.

9. Codetta-Raiteri, Daniele. Integrating several formalisms in order to increase fault trees' modeling power. *Reliability Engineering & System Safety*, 2011, vol. 96, no. 5, pp. 534–544.

10. Moskvina, I., Stefanovych, T., Shcherbovskykh, S., Vrahuvannya pomylok pershoho ta druhoho rodu peremykal'noho prystroyu dlya systemy iz haryachym rezervuvanniam [Taking into account type I and II errors of switching device for system with hot redundancy], *Technology audit and production reserves*, 2015, vol. 5, no. 2(25), pp. 54–59.

11. Stefanovych, T., Shcherbovskykh, S., Drozdziel, P. The reliability model for failure cause analysis of pressure vessel protective fittings with taking into account load-sharing effect between valves. *Diagnostyka*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 17–24.

12. Shcherbovskykh, S. *Matematychni modeli ta metody dlya vyznachennya kharakterystyk nadiynosti bahatoterminal'nykh system iz urakhuvanniam pererozpodilu navantazhennya: monohrafiya* [Mathematical models and methods for dependability characteristic determination of repairable multi-terminal load-shared systems], Lviv, Lviv Polytechnic Press Publ., 2012. 296 p.

Reference

1. Druzhinin, H. V. *Nadezhnost' avtomatizirovannykh sistem* [Automatized system reliability]. Moscow, Energy Publ., 1977. 536 p.

Поступила в редакцію 21.03.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

УЧЕТ ОШИБОК ПЕРВОГО И ВТОРОГО РОДА УСТРОЙСТВА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ С ХОЛОДНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

И. И. Москвина, Т. А. Стефанович, С. В. Щербовских

В статье предложена модель надежности для определения вероятности безотказной работы дублированной системы с холодным резервированием и неидеальным переключающим устройством. Особенность модели заключается в том, что в ней адекватно учтено появление ошибок первого и второго рода для переключающего устройства. Надежность системы математически описана двухтерминальным динамическим деревом отказов, а вероятностные характеристики системы определены на основании однородной марковской модели. Количественно показано как увеличение параметров, которые соответствуют этим ошибкам, приводит к снижению вероятности безотказной работы системы.

Ключевые слова: модель надежности, динамическое дерево отказов, марковская модель, холодное резервирование, переключающее устройство, ошибка первого рода, ошибка второго рода.

CONSIDERING OF THE FIRST AND SECOND TYPES ERRORS OF SWITCHING DEVICE FOR RELIABILITY OF SYSTEM WITH COLD REDUNDANCY

I. I. Moskvina, T. O. Stefanovych, S. V. Shcherbovskykh

In the paper a reliability model for probability characteristics determination for doubled system with cold redundancy and non-ideal switching device is suggested. The peculiarity of the model lies in the fact that it is adequately accounted appearance of the first and second type errors for the switching device. System reliability is mathematically described by two-terminal dynamic fault tree, and probability characteristics of the system are determined by homogeneous Markov model. It is quantitatively shown how decreasing of parameters that correspond to these errors results has an influence on decreasing reliability probability characteristics.

Key words: reliability model, dynamical fault tree, Markov model, cold redundancy, switching device, first type error, second type error.

Москвіна Ірина Ігорівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри методики викладання фізико-математичних дисциплін та інформаційних технологій у навчанні Бердянського державного педагогічного університету, Бердянськ, Україна, e-mail: iriwka-gt@inbox.ru.

Стефанович Тетяна Олександрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри проектування та експлуатації машин Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: stefanovych@lp.edu.ua.

Щербовських Сергій Володимирович – д-р техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: shcherbov@gmail.com.

Moskvina Irina Ihorivna – Doctor of Philosophy, Associated Professor, Associated Professor of Physical and Mathematical Sciences Teaching and Information Technology in Education Department, Berdyansk State Pedagogical University, Berdyansk, Ukraine, e-mail: iriwka-gt@inbox.ru.

Stefanovych Tetyana Oleksandrivna – Doctor of Philosophy, Associated Professor, Associated Professor of Mechanical Engineering Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: stefanovych@lp.edu.ua.

Shcherbovskykh Serhiy Volodymyrovych – Doctor of Science, Senior Researcher, Associated Professor of Radio Engineering Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: shcherbov@gmail.com.