4. *Дюсківська І.М.* Інноваційні педагогічні технології – К. Академвидав 2004 – 351 с.
5. *Ткачук Р., Сікора Л.* Логіко-когнітивні моделі формування управлінських рішень інтегрованими системами в екстремальних умовах – Львів, Ліга-прес 2010 – 404с.

Поступила 6.10.2010р.

УДК 004.052

В.М.Теслюк, д.т.н., професор каф. САП, НУ “Львівська політехніка”,
М.В.Лобур, д.т.н., професор, зав. каф. САП, НУ “Львівська політехніка”,
А.Р.Сидор, викладач, здобувач каф. САП, НУ “Львівська політехніка”

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИМЕТРИЧНИХ ІЗОТРОПНИХ РОЗГАЛУЖЕНИХ СИСТЕМ

Досліджено основні показники надійності для симетричних систем, розгалужених до 2-го рівня, зі старіючими вихідними елементами. Розроблено моделі для оцінювання чотирьох показників надійності: коефіцієнта готовності за заданої умови готовності, ймовірності відмови за заданої умови готовності, частоти відмов за заданої умови готовності, інтенсивності відмов за заданої умови готовності.

Main reliability indices for symmetric systems ramified to level 2 with ageing output elements are examined. Models are worked out for evaluation of four reliability indices: the availability function in the prescribed availability condition, the failure probability in the prescribed availability condition, the failure frequency in the prescribed availability condition, the failure rate in the prescribed availability condition.

Вступ

Існуючі традиційні методи аналізу й оцінки надійності систем здебільшого орієнтовані на прості об’єкти й не можуть повною мірою задовольнити потреби аналізу надійності великих систем. Необхідно розвивати методи оцінювання, аналізу надійності розгалужених систем з урахуванням їх специфіки (можливості зміни у структурі, збереження працездатності при часткових відмовах за рахунок збитковості та ін.), розробляти нові методи оцінювання, які дозволяють повною мірою оцінювати функціонування систем [1].

Розгалужені системи є окремим класом складних технічних систем, принцип роботи яких принципово відрізняється від традиційних систем. У таких системах немає однозначного стану роботи чи відмови. Натомість є достатньо велика кількість (у залежності від величини системи) можливих станів системи, і впродовж своєї роботи система переходить з одного працездатного стану в інший. Така особливість цих систем обумовлює і своєрідність показників надійності системи, які відмінні від традиційних показників надійності, передбачених державними стандартами України.

Аналіз надійності складних систем є обов'язковим при проектуванні складних систем. При цьому складність систем часто зростає швидше від розвитку математичних методів їх досліджень. Недостатньо висока надійність може привести до надмірних витрат на ремонт і відновлення або навіть до серйозніших наслідків, зокрема до небезпечних ситуацій або аварій.

Для багатьох сучасних технічних автоматизованих систем вирішення проблеми надійності визначає, бути чи не бути цим системам. До таких розгалужених систем можна віднести регіональні й галузеві автоматизовані системи управління, до складу яких входить велика кількість комп'ютерів, системи управління повітряним рухом для цивільної авіації, автоматизовані системи управління технологічними процесами, мережа центрів управління та слідкування за космічними об'єктами, комп'ютерні мережі [4].

1. Постановка задачі

Розгалужені системи можуть мати складну структуру, і дослідження їх показників надійності вимагає певного системного підходу як до структури, так і показників.

Як приклади розгалужених систем можна навести системи управління, які у своїй основі мають лінійну або лінійно-функціональну структуру управління; системи комплексу технічних засобів автоматизованих систем управління; функціональні структури автоматизованих систем управління; структури баз даних систем передачі інформації, технічної діагностики та ін. Структура комплексів технічних засобів локальних комп'ютерних мереж у багатьох випадках – це розгалужені системи, на верхньому рівні яких знаходиться сервер, на середньому рівні – концентратори, а на нижньому рівні (вихідному) – робочі станції. Такі системи можуть мати симетричну, несиметричну, неізотропну, з обходами через рівні розгалужену структуру з розгалуженням до 2-го, 3-го та більше рівня.

Крім того, розвиток багатьох процесів у природі має деревовидний, розгалужений характер, і математичні моделі дослідження ймовірнісних і часових показників надійності розгалужених систем можуть бути використані для дослідження таких процесів. Прикладами можуть бути складні екологічні та біологічні системи з розгалуженою структурою. Реакція живого організму полягає у зміні елементарних фізіологічних функцій і режимів на певних рівнях структури, які реагують на впливи. Стани структур організму ототожнюють із станами формальних елементів розгалуженої структури, причому на одному рівні може бути декілька елементів, позаяк і вплив можна здійснювати або передавати одночасно на декілька структур або утворень.

З поняттям деревовидної структури тісно пов'язане поняття розгалуженої системи, під якою розуміють систему, що має основний елемент 0-го рівня, якому підпорядковуються елементи 1-го рівня, елементам 1-го рівня можуть підпорядковуватися елементи 2-го рівня, і т.д. [3]. Розгалужена система має явно виражений основний керуючий елемент і направлену систему керування виконавчими (вихідними) елементами. Якість функціонування такої системи визначається числом виконавчих елементів, які функціонують нормально, причому нормальним функціонуванням вважається не тільки працездатність самого виконавчого елемента, але й наявність ланцюга працездатних елементів, який з'єднує цей виконавчий елемент із керуючим елементом [2].

Ізотропні розгалужені системи є симетричними, якщо в них на одному рівні коефіцієнти розгалуження однакові, тобто всім елементам, що знаходяться на одному рівні, підпорядковується однакова кількість елементів нижчого рівня. На рис. 1 показана симетрична система з коефіцієнтами розгалуження a_1, a_2, a_3 до 1-го, 2-го та 3-го рівня відповідно. Елементу 0-го рівня безпосередньо підпорядковуються a_1 елементів 1-го рівня, кожному елементу 1-го рівня – a_2 елементів 2-го рівня, а кожному елементу 2-го рівня – a_3 елементів 3-го рівня.

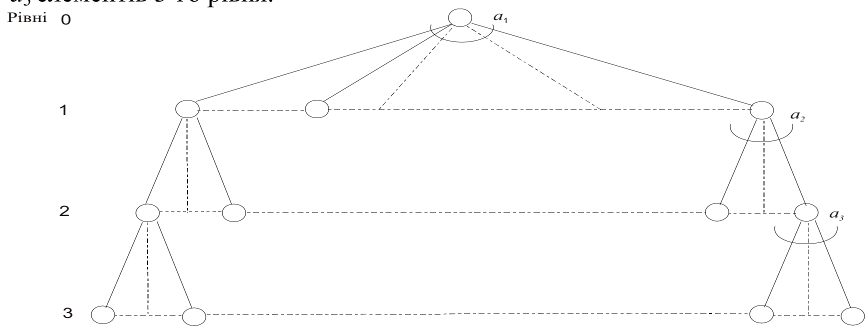

Рис.1. Симетрична система з розгалуженням до 3-го рівня

Важливим завданням є побудова математичних моделей імовірнісних і часових показників надійності симетричних ізотропних розгалужених систем, а також математичних моделей традиційних показників надійності цих систем, передбачених державними стандартами україни для невідновлюваних систем.

2. Моделювання показників надійності симетричних систем, розгалужених до 2-го рівня

Відповідно до [3] твірна функція для системи, розгалуженої до 1-го рівня, яка складається з 1 елемента 0-го рівня та a_1 підпорядкованих йому елементів 1-го рівня, має вигляд:

$$S_1(z) = p_0(p_1 z + q_1)^{a_1} + q_0\,, \tag{1}$$

де p_0, q_0, p_1, q_1 – відповідно ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмов елементів 0-го й 1-го рівнів, z – довільний параметр.

Розглянемо систему, в якій елементу 0-го рівня підпорядковуються a_1 елементів 1-го рівня, а кожному елементу 1-го рівня – a_2 елементів 2-го рівня (рис. 2), де a_1 – коефіцієнт розгалуження до 1-го рівня, a_2 – коефіцієнт розгалуження до 2-го рівня.

При побудові твірних функцій потрібно у твірну функцію вищого рівня замість z включати твірну функцію нижчого рівня. Вставимо в формулу (1) $(p_2 z + q_2)^{a_2}$ замість z.

$$S_2(z) = p_0(p_1(p_2 z + q_2)^{a_2} + q_1)^{a_1} + q_0\,, \tag{2}$$

де p_0, q_0, p_1, q_1, p_2, q_2 – відповідно ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмов елементів 0-го, 1-го й 2-го рівнів, z – довільний параметр. За формулою бінома Ньютона формула (2) перепишеться наступним чином.

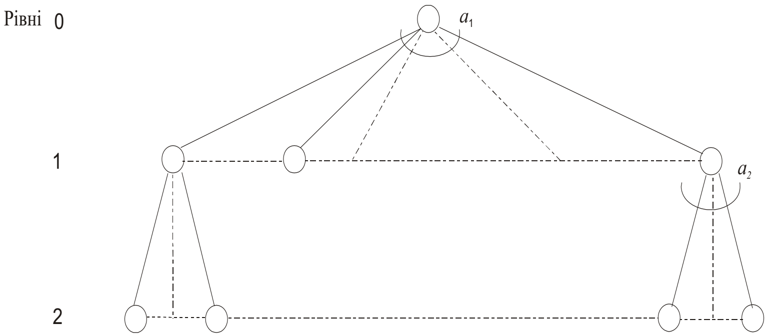

Рис.2. Симетрична система з розгалуженням до 2-го рівня

Позначимо через $K_{Г2R}(k,t)$ коефіцієнт готовності системи за умови, що ймовірність безвідмовної роботи старіючих вихідних елементів описується законом Релея. Одержимо при $0<k\leq a_1a_2$:

$$K_{Г2R}(k,t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_2=k}^{a_1a_2} \sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\lambda_1 x_1 t} \times \tag{3}$$

$$\times \left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{a_1-x_1} C_{a_2x_1}^{x_2} e^{-\frac{x_2 t^2}{2\sigma_2^2}} \left(1-e^{-\frac{t^2}{2\sigma_2^2}}\right)^{a_2x_1-x_2}.$$

Позначимо через $K_{Г2W}(k,t)$ коефіцієнт готовності системи за умови, що ймовірність безвідмовної роботи старіючих вихідних елементів описується законом Вейбулла. Одержимо при $0<k\leq a_1a_2$:

$$K_{Г2W}(k,t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_2=k}^{a_1a_2} \sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\lambda_1 x_1 t} \times \tag{4}$$

$$\times \left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{a_1-x_1} C_{a_2x_1}^{x_2} e^{-\lambda_2 x_2 t^{\beta_2}} \left(1-e^{-\lambda_2 t^{\beta_2}}\right)^{a_2x_1-x_2}.$$

Позначимо через $Q_{2R}(k,t)$ імовірність відмови системи за заданого стану готовності k, де $0<k\le a_1a_2$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Релея. Враховуючи формулу (3), одержимо:

$$Q_{2R}(k,t)=1-K_{\Gamma 2R}(k,t)=1-e^{-\lambda_0 t}\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1}C_{a_1}^{x_1}e^{-\lambda_1 x_1 t}\times$$

$$\times\left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{a_1-x_1}C_{a_2x_1}^{x_2}e^{-\frac{x_2t^2}{2\sigma_2^2}}\left(1-e^{-\frac{t^2}{2\sigma_2^2}}\right)^{a_2x_1-x_2}.$$

Позначимо через $a_{2R}(k,t)$ частоту відмов системи за заданого стану готовності k, де $0<k\le a_1a_2$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Релея. $a_{2R}(k,t)$ дорівнює похідній від коефіцієнта готовності $K_{\Gamma 2R}(k,t)$, взятій із протилежним знаком. Враховуючи (3), одержимо:

$$a_{2R}(k,t)=e^{-\lambda_0 t}\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1}C_{a_1}^{x_1}C_{a_2x_1}^{x_2}\sum_{j_1=0}^{a_1-x_1}C_{a_1-x_1}^{j_1}(-1)^{j_1}\sum_{j_2=0}^{a_2x_1-x_2}C_{a_2x_1-x_2}^{j_2}(-1)^{j_2}\times \qquad (5)$$

$$\times\left(\frac{x_2+j_2}{\sigma_2^2}t+\lambda_0+\lambda_1(x_1+j_1)\right)e^{-\lambda_1(x_1+j_1)t}e^{-\frac{x_2+j_2}{2\sigma_2^2}t^2}.$$

Позначимо через $\lambda_{2R}(k,t)$ інтенсивність відмов системи за заданого стану готовності k, де $0<k\le a_1a_2$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Релея. Враховуючи (3) і (5), одержимо:

$$\lambda_{2R}(k,t)=\frac{a_{2R}(k,t)}{K_{\Gamma 2R}(k,t)}=(\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1}C_{a_1}^{x_1}C_{a_2x_1}^{x_2}\sum_{j_1=0}^{a_1-x_1}C_{a_1-x_1}^{j_1}(-1)^{j_1}\times$$

$$\times\sum_{j_2=0}^{a_2x_1-x_2}C_{a_2x_1-x_2}^{j_2}(-1)^{j_2}\left(\frac{x_2+j_2}{\sigma_2^2}t+\lambda_0+\lambda_1(x_1+j_1)\right)e^{-\lambda_1(x_1+j_1)t}e^{-\frac{x_2+j_2}{2\sigma_2^2}t^2})/$$

$$/(\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1}C_{a_1}^{x_1}e^{-\lambda_1x_1t}\left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{a_1-x_1}C_{a_2x_1}^{x_2}e^{-\lambda_2x_2t^{\beta_2}}\left(1-e^{-\lambda_2t^{\beta_2}}\right)^{a_2x_1-x_2}).$$

Позначимо через $Q_{2W}(k,t)$ імовірність відмови системи за заданого стану готовності k, де $0<k\le a_1a_2$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. На основі формули (4) одержимо:

$$Q_{2W}(k,t)=1-K_{\Gamma 2W}(k,t)=1-e^{-\lambda_0 t}\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1}e^{-\lambda_1 x_1 t}\times$$

$$\times\left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{a_1-x_1} C_{a_2x_1}^{x_2}e^{-\lambda_2 x_2 t^{\beta_2}}\left(1-e^{-\lambda_2 t^{\beta_2}}\right)^{a_2x_1-x_2}.$$

Позначимо через $a_{2W}(k,t)$ частоту відмов системи за заданого стану готовності k, де $0<k\leq a_1a_2$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. $a_{2W}(k,t)$ дорівнює похідній від коефіцієнта готовності $K_{\Gamma 2W}(k,t)$, взятій із протилежним знаком. Враховуючи (4), одержимо:

$$a_{2W}(k,t)=e^{-\lambda_0 t}\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1}C_{a_2x_1}^{x_2}\sum_{j_1=0}^{a_1-x_1}C_{a_1-x_1}^{j_1}(-1)^{j_1}\sum_{j_2=0}^{a_2x_1-x_2}C_{a_2x_1-x_2}^{j_2}(-1)^{j_2}\times \quad (6)$$

$$\times\left(\lambda_2(x_2+j_2)\beta_2 t^{\beta_2-1}+\lambda_0+\lambda_1(x_1+j_1)\right)e^{-\lambda_1(x_1+j_1)t}e^{-\lambda_2(x_2+j_2)t^{\beta_2}}.$$

Позначимо через $\lambda_{2W}(k,t)$ інтенсивність відмов системи за заданого стану готовності k, де $0<k\leq a_1a_2$, за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. Враховуючи (4) і (6), одержимо:

$$\lambda_{2W}(k,t)=\frac{a_{2W}(k,t)}{K_{\Gamma 2W}(k,t)}=(\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1}C_{a_2x_1}^{x_2}\sum_{j_1=0}^{a_1-x_1}C_{a_1-x_1}^{j_1}(-1)^{j_1}\times$$

$$\times\sum_{j_2=0}^{a_2x_1-x_2}C_{a_2x_1-x_2}^{j_2}(-1)^{j_2}\left(\lambda_2(x_2+j_2)t^{\beta_2-1}+\lambda_0+\lambda_1(x_1+j_1)\right)e^{-\lambda_1(x_1+j_1)t}e^{-\lambda_2(x_2+j_2)t^{\beta_2}})/$$

$$/(\sum_{x_2=k}^{a_1a_2}\sum_{x_1=ceil\left(\frac{x_2}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1}e^{-\lambda_1 x_1 t}\left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{a_1-x_1}C_{a_2x_1}^{x_2}e^{-\lambda_2 x_2 t^{\beta_2}}\left(1-e^{-\lambda_2 t^{\beta_2}}\right)^{a_2x_1-x_2}).$$

Висновки

1. Розглянуто задачу моделювання надійності невідновлюваних ізотропних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами. Визначення показників надійності цих систем проведено на основі математичного апарату теорії ймовірностей. Вирази для моделювання показників надійності цих систем побудовано на основі методу твірних функцій.

2. На основі проведеного аналізу показників надійності ізотропних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами і показників надійності невідновлюваних систем згідно з державними стандартами України встановлено зв’язок між показниками цих двох груп за заданої умови готовності, який полягає в ідентичності трьох показників однієї та другої групи, що дозволяє визначати для ізотропних розгалужених систем зі

старіючими вихідними елементами ще два показники надійності: частоту відмов та інтенсивність відмов за заданої умови готовності.

3. На основі методу твірних функцій побудовано моделі ймовірнісних показників надійності симетричних ізотропних систем , розгалужених до 2-го рівня, зі старіючими вихідними елементами, що дозволяє оцінювати ймовірнісні показники таких систем. Побудовано моделі для розрахунку традиційних характеристик надійності невідновлюваних систем, передбачених державними стандартами України, для симетричних ізотропних систем, розгалужених до 2-го рівня, зі старіючими вихідними елементами, що дозволяє оцінювати такі показники надійності для вказаних систем.

4. У світовій практиці одним із основних показників надійності вважається інтенсивність відмов, особливо для комплектуючих. З точки зору прогнозування надійності розгалужених систем, яке потрібне для оцінок ймовірностей відмов, порівняння структур систем з надійності, визначення потенційних проблем надійності, планування обслуговування та планування забезпечення запасними виробами і ремонтними послугами, оцінки витрат на експлуатацію, важливим є використання цих традиційних показників, що у свою чергу дасть можливість визначити експлуатаційні показники розгалужених систем, такі, як частоту профілактики, ремонту, кількість запасних частин.

1. *Голинкевич Т.А.* Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1977 – 159 с.
2. *Козлов Б., Ушаков И.* Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Советское радио, 1975. – 472 с.
3. *Райншке К., Ушаков И.* Оценка надежности систем с использованием графов. – М.: Радио и связь, 1988. – 209 с.
4. *Ушаков И.А.* Вероятностные модели информационно-вычислительных систем. – М.: Радио и связь, 1991.

Поступила 11.02.2010р.

УДК 629.52.7

О.А. Машков, д.т.н., професор, ВАК України; В.Р. Косенко

МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТІЙКОГО ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТА НА ОСНОВІ БАЗИ ЗНАНЬ

ПОСТАНОВА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ. На даний час склалася певна технологія розробки експертної системи, яка включає шість таких етапів: ідентифікація, концептуалізація, формалізація, виконання, тестування і