

## МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ РОЗГАЛУЖЕНИХ СИМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

© Сидор А.Р., 2005

Досліджено основні характеристики надійності невідновлюваних симетричних систем, розгалужених до третього рівня, зі старіючими вихідними елементами. Розроблено моделі ймовірності відмови, частоти відмов та інтенсивності відмов для випадку, коли надійність старіючих вихідних елементів описується розподілом Вейбулла.

**Main reliability characteristics of unrestorable symmetric systems ramified to level 3 with ageing output elements are examined in this paper. Models of the failure probability, the failure frequency and the failure rate are worked out in the case when the lifetime of ageing output elements is circumscribed by the Weibull distribution.**

**1. Постановка проблеми в загальному вигляді.** Надійність є комплексною властивістю, складовою частиною якої залежно від призначення системи або умов її експлуатації є такі властивості, як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність. Проблема полягає в оцінюванні характеристик надійності розгалуженої системи, що складається з невідновлюваних елементів, за даними про показники надійності елементів та про зв'язки між елементами. Для цього необхідно побудувати математичні моделі, що пов'язують характеристики надійності системи з показниками надійності елементів системи.

**2. Виділення невирішених частин проблеми.** 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. Це питання важливе через те, що в останні роки в нашій країні поширюється використання розгалужених комп'ютерних систем, які часто можна розглядати як ієрархічні розгалужені системи. Обґрунтовані інженерні методи у прогнозуванні надійності розгалужених комп'ютерних систем тепер ще не набули широкого застосування, хоча в інших інженерних дисциплінах, наприклад, у проектуванні трубопроводів, такі методи застосовують частіше. Загалом дослідження надійнісних характеристик розгалужених систем є новою тематикою, хоча таких об'єктів є дуже багато, зокрема серед управлінських процесів.

**3. Аналіз останніх досліджень даної проблеми.** Особливу роль прогнозування надійності відіграє у плануванні технічних оглядів і профілактичних ремонтів. Превентивні дії в підходах до надійності та якості здобули велику популярність. Важливим є порівняння характеристик надійності розгалужених систем із параметрами надійності, передбаченими державними стандартами України [1, 2].

Математичні моделі надійності складних систем найчастіше є складними формальними перетвореннями, що дозволяють одержати розрахункові формули, які часто є дуже заплутаними. Моделі звичайно реалізуються за допомогою інтегральних і диференціальних рівнянь, на основі графа можливих станів складної системи, на основі логіко-ймовірнісних методів або на основі дедуктивного методу (дерева відмов). Практичні розрахунки при таких традиційних підходах є надзвичайно громіздкі та багатоетапні. Доводиться інтерполювати показники надійності або використовувати показники аналогів, що спричиняє зменшення точності оцінювання характеристик надійності системи.

**4. Мета роботи та постановка завдання.** Метою роботи є аналіз характеристик надійності складних розгалужених систем та розробка моделей для оцінки характеристик надійності невідновлюваних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами.

Відповідно до поставленої мети завдання полягає в аналізі характеристик надійності невідновлюваних систем згідно з державними стандартами України, у побудові на основі методу твірних

функцій математичних моделей характеристик надійності невідновлюваних симетричних систем зі старіючими вихідними елементами, розгалужених до третього рівня.

**5. Основна частина.** Розглянемо систему, в якій елементу 0-го рівня підпорядковуються  $a_1$  елементів 1-го рівня, кожному елементу 1-го рівня –  $a_2$  елементів 2-го рівня, кожному елементу 2-го рівня –  $a_3$  елементів 3-го рівня (рис. 1), де  $a_1$  – коефіцієнт розгалуження до 1-го рівня,  $a_2$  – коефіцієнт розгалуження до 2-го рівня,  $a_3$  – коефіцієнт розгалуження до 3-го рівня.

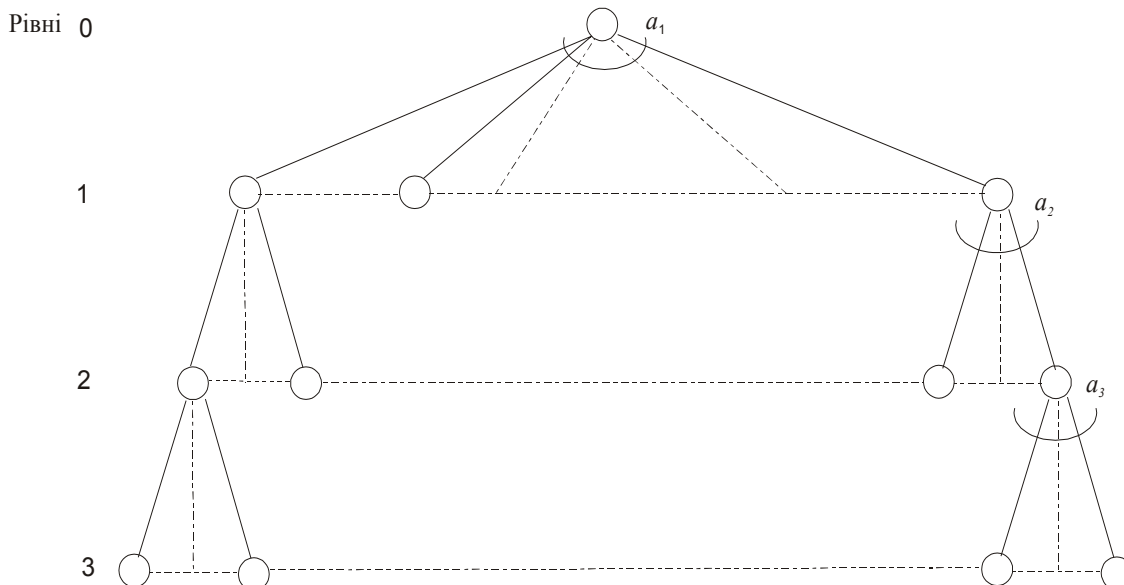


Рис.1. Симетрична система, розгалужена до третього рівня

Одержимо твірну функцію

$$S_3(z) = p_0(p_1(p_2(p_3z + q_3)^{a_3} + q_2)^{a_2} + q_1)^{a_1} + q_0, \quad (1)$$

де  $p_0, q_0, p_1, q_1, p_2, q_2, p_3, q_3$  – відповідно ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмов елементів нульового, першого, другого та третього рівнів,  $z$  – довільний параметр. За формулою бінома Ньютона формулу (1) перепишемо так:

$$S_3(z) = p_0 \sum_{x_1=0}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} p_1^{x_1} q_1^{a_1-x_1} \sum_{x_2=0}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} p_2^{x_2} q_2^{a_2 x_1 - x_2} z^{x_2} \times \sum_{x_3=0}^{a_3 x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} p_3^{x_3} q_3^{a_3 x_2 - x_3} z^{x_3} + q_0. \quad (2)$$

Враховуючи результати, одержані у роботі [3], розробимо вирази для ймовірності відмови, частоти й інтенсивності відмов.

Позначимо через  $Q_{3W}(k, t)$  імовірність відмови системи при заданому стані готовності  $k$ , де  $0 < k \leq a_1 a_2 a_3$ , за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. Одержимо

$$Q_{3W}(k, t) = 1 - e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1 = \text{ceil}\left(\frac{\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\lambda_1 x_1 t} (1 - e^{-\lambda_1 t})^{a_1 - x_1} \times \sum_{x_2 = \text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} e^{-\lambda_2 x_2 t} (1 - e^{-\lambda_2 t})^{a_2 x_1 - x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} e^{-\lambda_3 x_3 t} (1 - e^{-\lambda_3 t})^{a_3 x_2 - x_3}. \quad (3)$$

Позначимо через  $a_{3W}(k,t)$  частоту відмов системи при заданому стані готовності  $k$ , де  $0 < k \leq a_1 a_2 a_3$ , за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. Відповідно до формули [3]  $a_{3W}(k,t)$  дорівнює похідній від імовірності відмов  $Q_{3W}(k,t)$ . Одержимо

$$\begin{aligned}
 a_{3W}(k,t) = & e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1=\text{ceil}\left(\frac{\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} \sum_{x_2=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} \times \\
 & \times \sum_{j_1=0}^{a_1-x_1} C_{a_1-x_1}^{j_1} (-1)^{j_1} \sum_{j_2=0}^{a_2 x_1-x_2} C_{a_2 x_1-x_2}^{j_2} (-1)^{j_2} \sum_{j_3=0}^{a_3 x_2-x_3} C_{a_3 x_2-x_1}^{j_3} (-1)^{j_3} \times \\
 & \times \left( \lambda_3 (x_3 + j_3) \beta_3 t^{\beta_3-1} + \lambda_0 + \lambda_1 (x_1 + j_1) + \lambda_2 (x_2 + j_2) \right) e^{-(\lambda_1 (x_1 + j_1) + \lambda_2 (x_2 + j_2)) t} e^{-\lambda_3 (x_3 + j_3) t^{\beta_3}}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Позначимо через  $\lambda_{3W}(k,t)$  інтенсивність відмов системи при заданому стані готовності  $k$ , де  $0 < k \leq a_1 a_2 a_3$ , за умови, що ймовірність безвідмовної роботи вихідних елементів описується законом Вейбулла. Одержимо

$$\begin{aligned}
 \lambda_{3W}(k,t) = & \left( \sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1=\text{ceil}\left(\frac{\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} \sum_{x_2=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} \times \right. \\
 & \times \sum_{j_1=0}^{a_1-x_1} C_{a_1-x_1}^{j_1} (-1)^{j_1} \sum_{j_2=0}^{a_2 x_1-x_2} C_{a_2 x_1-x_2}^{j_2} (-1)^{j_2} \sum_{j_3=0}^{a_3 x_2-x_3} C_{a_3 x_2-x_1}^{j_3} (-1)^{j_3} \times \\
 & \times \left. \left( \lambda_3 (x_3 + j_3) \beta_3 t^{\beta_3-1} + \lambda_0 + \lambda_1 (x_1 + j_1) + \lambda_2 (x_2 + j_2) \right) \times \right. \\
 & \times \left. e^{-(\lambda_1 (x_1 + j_1) + \lambda_2 (x_2 + j_2)) t} e^{-\lambda_3 (x_3 + j_3) t^{\beta_3}} \right) / \\
 & / \left( \sum_{x_3=k}^{a_1 a_2 a_3} \sum_{x_1=\text{ceil}\left(\frac{\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}{a_2}\right)}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\lambda_1 x_1 t} \left(1 - e^{-\lambda_1 t}\right)^{a_1-x_1} \sum_{x_2=\text{ceil}\left(\frac{x_3}{a_3}\right)}^{a_2 x_1} C_{a_2 x_1}^{x_2} \times \right. \\
 & \times \left. e^{-\lambda_2 x_2 t} \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)^{a_2 x_1-x_2} C_{a_3 x_2}^{x_3} e^{-\lambda_3 x_3 t^{\beta_3}} \left(1 - e^{-\lambda_3 t^{\beta_3}}\right)^{a_3 x_2-x_3} \right).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше побудовано математичні моделі у вигляді аналітичних виразів для оцінювання ймовірності відмови, частоти відмов та інтенсивності відмов не відновлюваних симетричних розгалужених систем зі старіючими елементами за заданої умови готовності, що дозволить розробити методику побудови моделей у вигляді рекурентних виразів для оцінки характеристик надійності невідновлюваних симетричних систем, розгалужених до будь-якого рівня.

**6. Висновки.** У світовій практиці однією з основних характеристик вважається інтенсивність відмов, особливо для комплектуючих. З погляду 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, не можна відкидати використання цих традиційних характеристик. Тому важливим є зв'язок між характеристиками надійності саме розгалужених систем і традиційними. На основі характеристик надійності розгалуженої системи можна визначити ймовірність відмови, частоту й інтенсивність відмов розгалуженої сис-

теми при заданій умові готовності  $k$ , а також тривалість роботи до відмови. Це своєю чергою дасть можливість визначити експлуатаційні характеристики розгалуженої системи, такі як частоту профілактики, ремонту, кількість запасних частин.

У роботі для симетричних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами, розгалуженими до третього рівня, побудовано моделі ймовірності відмови, частоти відмов та інтенсивності відмов, що дає можливість оцінювати такі характеристики. Оцінка ймовірнісних і часових характеристик надійності, а також імовірності відмови, частоти відмов та інтенсивності відмов при заданій умові готовності для технічного обладнання розгалуженої комп'ютерної системи, основними елементами якої є сервер, концентратори та робочі станції, дозволяє планувати виділення коштів для підтримання цього обладнання у працездатному стані. Під час проектування ієрархічних систем на основі цих результатів здійснюється прийняття рішення про структуру системи. Розрахунок інтенсивності відмов комплексу технічних засобів системи дозволяє передбачити вихід з ладу обладнання, що важливо для вчасного проведення планових і профілактичних ремонтів.

Узагальнення результатів оцінки надійнісних характеристик для симетричних систем, розгалужених до третього рівня, дає можливість побудови рекурентних виразів для розрахунку розподілу ймовірностей числа вихідних працюючих елементів, тривалості перебування системи в усіх працездатних станах і частоти відмов при заданій умові готовності для симетричних ієрархічних систем зі старіючими вихідними елементами, розгалужених до  $n$ -го рівня.

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введ. 28.12.94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с. 2. ДСТУ 2862-94. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. – Введ. 8.12.94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 40 с. 3. Марунчак Д., Сидор А. Надійність несиметричних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами // Матер. 5-ї Міжнар. наук.-техн. конф. "Досвід розробки і застосування САПР в мікроелектроніці". – Львів: 1999. – С. 26–28.

УДК 004.8

Ю.В. Нікольський

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра інформаційних систем та мереж

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ СПРАЦЮВАНЬ ЗАХИСТІВ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

© Нікольський Ю.В., 2005

**Запропоновано загальний підхід до моделювання інформаційного об'єкта та принципи побудови системи прийняття рішень у випадку прогнозування спрацювання захистів на електростанціях. Побудовано алгоритми попереднього аналізу потоків інформації з метою конструювання нейромережі, яку використано для прийняття рішень.**

**The general approach to modeling the information objects and the principles of building the making decision system for forecasting the defense systems making at the power-stations is proposed. The special algorithms of preliminary information flow analysis were built with the matter of neural network constructing.**

**1. Постановка проблеми у загальному вигляді.** Мета виконаного дослідження полягає у розробці математичної моделі прийняття рішень про локалізацію місця виникнення та початкових стадій розвитку ситуацій, що спричиняють спрацювання систем захисту енергоблоків теплових та атомних електростанцій. Результатом цих досліджень є побудова реальної системи попередження персоналу про розвиток ситуації та її локалізацію на основі інформації про загальні закономірності