УДК 004.722

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ЛОКАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

О.В. СТАРКОВА

Державний університет телекомунікацій

Abstract *– The implementation of functional stability is achieved by using a complex technical system in different kinds of existing redundancy (structural, time, informational, functional, load, etc.) through the redistribution of resources to mitigating the consequences of emergency situations. However, few works in the field of functional stability of complex technical systems makes it difficult to develop common approaches and establish theoretical foundations of functional stability for local computer networks. The problem is the lack of a standardized conceptual apparatus for functional stability and uncertainty of indicators and criteria optimization of local computer networks. A functional criteria and indicators of local computer network stability are proposed in the article. Implementation of functional stability is achieved by using different types of redundancy (structural, temporal, informational, functional, load, etc.) in a complex technical system. The proposed model for estimation the functional stability of the local computer network uses the principle of decomposition of complex procedures to ensure functional stability into simpler steps and offers a methodology for calculating the probability of a generalized indicator of functional stability as a connectivity matrix structure convolution. According to the proposed criteria and indicators different topologies of local computer networks can be evaluated and compared. Also results can be applied for form of redundancy optimal use techniques in the system mitigating the consequences of emergency situations.*

.

Анотація *– Запропонована модель оцінки функціональної стійкості локальної комп'ютерної мережі комплексно використовує принцип декомпозиції процедури забезпечення функціональної стійкості на більш прості етапи і пропонує методику розрахунку узагальненого імовірнісного показника функціональної стійкості як згортки матриці зв'язності структури.*

Аннотация *– Предложенная модель оценки функциональной устойчивости локальной компьютерной сети комплексно использует принцип декомпозиции процедуры обеспечения функциональной устойчивости на более простые этапы и предлагает методику расчета обобщенного вероятностного показателя функциональной устойчивости как свертки матрицы связности структуры.*

Вступ

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів підвищення ефективності складних технічних систем, до яких повною мірою відноситься й локальна комп'ютерна мережа (*Л*КМ), дозволили зробити висновок про формування за останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням системі властивості функціональної стійкості.

I. Постановка проблеми

Реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням у складній технічній системі різних уже існуючих видів надмірності (структурної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Разом з тим, нечисленні роботи у галузі

забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем не дають змоги виробити єдині підходи та започаткувати теоретичні основи забезпечення функціональної стійкості для ЛКМ. Проблема полягає у відсутності стандартизованого понятійного апарату функціональної стійкості та невизначеності показників та критеріїв оптимізації щодо предметної галузі ЛКМ.

Аналіз публікацій. Поняття функціональної стійкості вперше було введено Машковим О. А., який запропонував достатньо оригінальну ідею щодо забезпечення живучості складних динамічних систем на основі перерозподілу наявної надмірності [1]. Проте показники та критерії, запропоновані Машковим О. А., не можуть бути застосовані до оптимізації ЛКМ, оскільки вони не враховують численних особливостей складного розподіленого гетерогенного середовища ЛКМ.

Більш близьким можна вважати підхід, запропонований у роботах Барабаша О. В., зокрема у [2], у яких пропонуються показники та критерії для побудови стійких систем передачі даних. Разом з тим, такий підхід базується лише на оцінках зв'язності графів мережі, що надто обмежує можливість його застосування для забезпечення функціональної стійкості ЛКМ.

В роботах Кравченка Ю. В. [3-6] пропонується дещо інший підхід щодо визначення та забезпечення функціональної стійкості для навігаційних систем спеціального призначення, заснований на вирішенні оптимізаційної задачі з застосуванням матроїдних структур. Проте, такий підхід є вузькоспеціалізованим і надто складним для реалізації внаслідок труднощів повного опису елементів та параметрів ЛКМ у термінах матроїдів. Значний вклад у розвиток теорії функціональної стійкості зробив професор Неділько С.М. А саме, в його роботах одержала подальший розвиток класична концепція забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем, яка характеризується новою стратегією забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом [9]. Отже, проблема визначення показників та критеріїв функціональної стійкості для ЛКМ ще не вирішена і потребує обґрунтування відповідних залежностей та підходів.

Метою статті є розробка системи показників і критеріїв для формалізації процесів забезпечення функціональної стійкості ЛКМ.

II. Основна частина

Обравши за основу підхід, запропонований у [2] відзначимо, що особливий інтерес в теорії функціональної стійкості для ЛКМ представляє узагальнений імовірнісний показник зв'язності – $F_{ЛКМ}$ як згортка матриці ймовірностей зв'язності $P_{СВ}$:

$$P_{СВ} = \begin{bmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & 0 & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

$$F_{ЛКМ} = F(P_{св}) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1, j\neq i}^{n} w_{ij} \cdot P_{ij}, \quad (2)$$

де n – число вузлів ЛКМ; w_{ij} – вагові коефіцієнти ліній зв'язку, які залежать від заданої інтенсивності передачі інформації ρ_{ij} між v_i і v_j:

$$w_{ij} = \begin{cases} 2, & при \ \ \rho_{ij} \geq M[\rho]; \\ 1, & при \ \ 0{,}1M[\rho] \leq \rho_{ij} < M[\rho]; \\ 1/2, & при \ \ \rho_{ij} < M[\rho]. \end{cases} \quad (3)$$

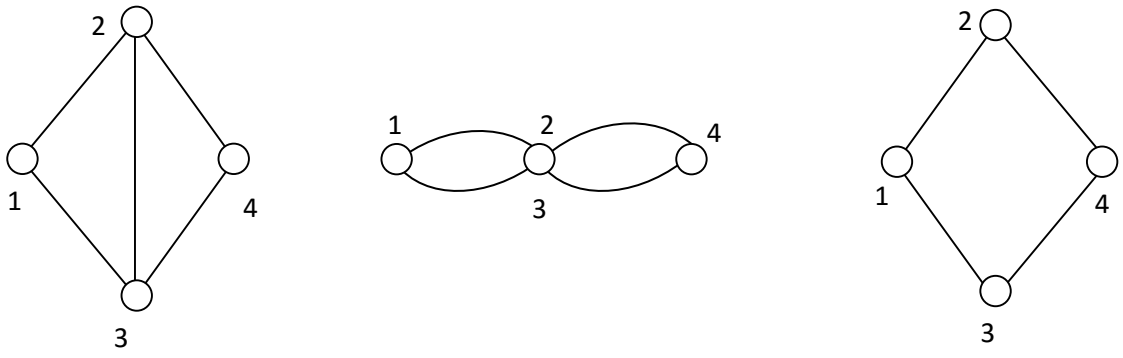
Математичне очікування заданої інтенсивності передачі інформації $M[\rho]$ в ЛКМ визначається на основі наступної залежності:

$$M[\rho] = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1; j\neq i}^{n} \rho_{ij}. \quad (4)$$

Імовірність зв'язності P_{ij} визначається на основі наступних вихідних даних:

1) структури ЛКМ, що задана матрицею суміжності $A_{СМ}$;
2) імовірності передачі інформації p_{ij} по лінії зв'язку l_{ij}.

Найбільш простим методом визначення P_{ij} є розкладання структури АСУПР на послідовне і паралельне з'єднання ліній зв'язку. Складні розгалужені структури, що мають перехресні зв'язки, неможливо привести до елементарних з'єднань ланок у сенсі надійності. У цьому випадку доцільно застосувати структурні перетворення графів [4]. Їх сутність полягає у розкладанні структури ЛКМ щодо якого-небудь елемента по методу Шенона-Мура. У результаті розкладання отриману структуру можна представити у вигляді послідовно-паралельних з'єднань. Наприклад, для обчислення P_{14} вихідний граф G (рис. 1) перетвориться у два графи G_1 і G_2 [2]:



G G1 G2

Рис. 1. Перетворення графа до послідовно-паралельного з'єднання ребер

Граф G_1 отримано стягуванням ребра l_{23}, що відповідає справному стану ребра l_{23}. Граф G_2 одержано після розриву l_{23}, що відповідає його несправному стану. Імовірність зв'язності P_{14} для графа G можна обчислити за основною формулою розкладання:

$$P_{14}(G)=p_{23}\cdot P_{14}(G_1)+q_{23}\cdot P_{14}(G_2), \tag{5}$$

де $p_{23}=1-q_{23}$ – імовірність передачі інформації через лінію зв'язку, що відповідає ребру l_{23}; $P_{14}(G_1)$ і $P_{14}(G_2)$ – визначаються на основі методів теорії надійності як послідовно-паралельне з'єднання елементів:

$$P_{14}(G_1)=P_I\cdot P_{II}=(1-q_{12}q_{13})\cdot(1-q_{24}q_{34}); \tag{6}$$

$$P_{14}(G_2)=1-Q_I\cdot Q_{II}=1-(1-p_{12}p_{34})\cdot(1-p_{13}p_{34}). \tag{7}$$

Якщо прийняти $p_{ij}=p$, $q_{ij}=q$ для всіх $i, j=1,2,\ldots,n$, тоді вираз для P_{14} прийме вигляд:

$$P_{14}(G)=p\cdot\left(1-q^2\right)^2+q\cdot\left[1-\left(1-p^2\right)^2\right]. \tag{8}$$

Вираз (8) є тотожним виразу $P_{14}=p^2\left(1+q^2\right)+2p^3\left(q+q^2\right)$, що підтверджує збіжність отриманих результатів за допомогою двох методів.

Аналіз методу розкладання Шеннона-Мура дозволяє виділити наступні його особливості [7]:

– метод є ефективним для слабозв'язних графів з $n\leq 10$ і дозволяє виконувати аналітичні розрахунки;

– для більш складних графів процедуру розкладання потрібно буде повторювати кілька разів;

– в результаті виконання m процедур розкладання вихідний граф розпадається на 2^m графів з послідовно-паралельними з'єднаннями ребер;

– алгоритм, побудований за даним методом, має складність $O(2^m)$, де m – число ребер, за якими виконується розкладання.

Ще однією особливістю ймовірності зв'язності P_{ij}, як часткового показника функціональної стійкості, є її чутливість до деградації й нарощування структури. Видалення (відмова) будь-якої лінії зв'язку ЛКМ призводить до зменшення значення P_{ij}, а додавання будь-якої лінії зв'язку – до збільшення P_{ij}, що обумовлено появою нових, незалежних маршрутів передачі інформації.

Вплив видалення і додавання ребер графа топології ЛКМ можна проаналізувати на наступному прикладі. Розглянемо модельний приклад двополюсної структури ЛКМ (рис. 2). На рис. 2 представлено вихідний граф. У цьому випадку ймовірність зв'язності P_{ij} обчислюється на основі методу розкладання графів за формулою:

$$P_{ij}=p^2\left(1-q^2\right)+q^2p^3\left(2-p^3\right)+2pq\left(1-q^2\right)\left(2p^2-p^4\right). \tag{9}$$

Вираз (9) отримано за методом структурних перетворень з урахуванням припущень $p_i=p$, $q_i=q$ для всіх ребер.

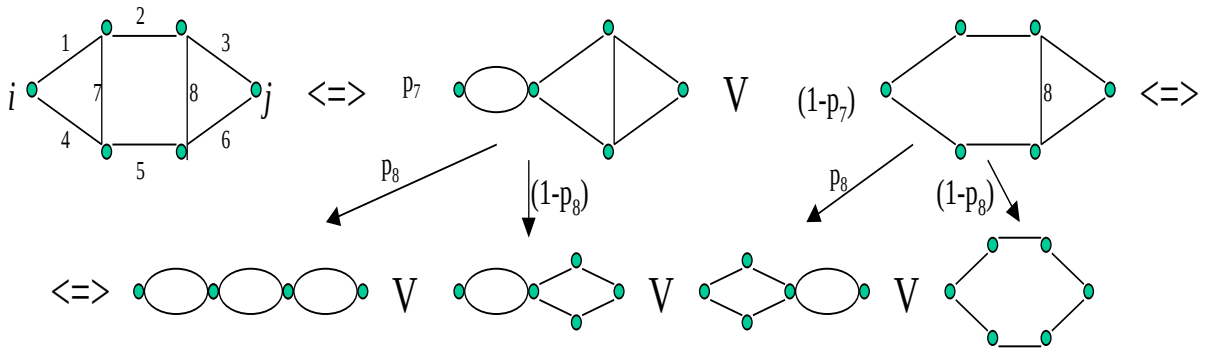


Рис. 2. Визначення ймовірності зв'язності методом структурних перетворень

В табл. 1 представлено результати розрахунку для вихідної структури графа (рис. 2) і для структур, отриманих після видалення і додавання деяких ребер при значеннях імовірності передачі інформації в лінії зв'язку p=0,9, p=0,8.

Таблиця 1. Значення ймовірності зв'язності у топології *L*КМ

Структура	Вирази для P_{ij}	P_{ij} для p=0,9	P_{ij} для p=0,8
Вих. структура $G(V,L)$	$p^2(1-q^2)+q^2p^3(2-p^3)+$ $+2pq(1-q^2)(2p^2-p^4)$	0,966	0,864
$G(V,L) \setminus l_8$	$p^3(1-q^2)(2-p^2)+qp^3(2-p^3)$	0,951	0,821
$G(V,L) \setminus l_2$	$p^3(1+qp)^2$	0,866	0,689
$G(V,L) \setminus \{l_2, l_8\}$	$p^3(1+qp)$	0,795	0,594
$G(V,L) \cup l_{ij}$	$1-q(1-P_{ij})$ (за (9))	0,977	0,973

Аналіз результатів (табл. 1) підтверджує експонентну залежність імовірності зв'язності від відносного числа ребер $P_{ij}(m/n)$, де m і n – потужності множин ребер L і вершин V графа. Причому при m/n>4/3 імовірність P_{ij} перевищує значення p_{ij}.

Для аналізу функціональної стійкості складної системи особливий інтерес має середня чутливість імовірності зв'язності в околиці точки $P_{ij} = P_{ij}^{зад}$:

$$\xi_{ij} = \lim_{\Delta m_L \to 1} \frac{\Delta P_{ij}(m_L / m_V)}{\Delta m_L} \cdot m_V, \quad P_{ij}(m_L / m_V) \to P_{ij}^{зад}. \qquad (10)$$

Чим вище ξ_{ij}, тим більший приріст показника функціональної стійкості при додаванні в структуру *L*КМ ліній зв'язку.

Так як метод структурних перетворень визначає ймовірність P_{ij} зв'язності між однією парою вершин, то для обчислення матричної ймовірності зв'язності необхідно виконати алгоритм $n(n\text{-}1)$ раз. В той-же час альтернативою даного методу є точні та наближені методи, класифікацію яких наведено в монографії [2].

Слід зазначити: теорія визначення $\Phi_i(t)$ і $R_i(t)$ досить повно викладена у роботі [8]. Таким чином, у якості показників функціональної стійкості ЛКМ доцільно вибрати сімейство $P(F_\tau)$, яке визначає ймовірність збереження деякої множини функціональних властивостей $F_\tau = F_\tau\{z(t,\alpha),\ t \le \tau\},\ t,\tau \in I,\ \alpha \in A$:

$$P(F_\tau) = P\{F_\tau[z(t,\alpha),\ t \le \tau] \in B^\tau_{A_1}\}, \qquad (11)$$

де $P(F_\tau)$ − множина імовірнісних показників функціональної стійкості ЛКМ.

Висновки

Запропонований підхід щодо визначення показників та критеріїв оцінки функціональної стійкості локальної комп'ютерної мережі комплексно використовує принцип декомпозиції процедури забезпечення функціональної стійкості на більш прості етапи і пропонує методику розрахунку узагальненого імовірнісного показника функціональної стійкості як згортки матриці зв'язності структури. За запропонованими показниками та критеріями можна оцінювати та порівнювати різні топології ЛКМ, а також застосовувати їх для формування методики оптимального використання надмірності системи при парируванні наслідків позаштатних ситуацій.

Список літератури:

1. *Машков О. А., Артюшин Л. М.* Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.

2. *Барабаш О. В.* Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

3. *Кравченко Ю. В.* Применение метода последовательного увеличения ранга k-однородного матроида в задаче синтеза структуры псевдоспутниковой радионавигационной системы // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2008. – № 2(2). – С. 19-22.

4. *Кравченко Ю. В., Нікіфоров С.В.* Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – № 1. – С. 12-18.

5. *Кравченко Ю. В., Миколайчук Р.А.* Концептуальний підхід до синтезу складних технічних систем з динамічною структурою // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2012. – № 2(14). – С. 31-36.

6. *Кравченко Ю.В., Микусь С.А.* Сучасний стан та шляхи розвитку теорії функціональної стійкості // Моделювання та інформаційні технології : Зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова. – 2013. – Вип. 68. – С. 60-68.

7. *Андерсон Д.* Дискретная математика и комбинаторика. – М.: «Вильямс», 2006. – 960 с.

8. *Гвоздева В. А., Лаврентьева И. Ю.* Основы построения автоматизированных информационных систем. – М.: «Гелиос», 2007. – 320 с.

9. *Неділько С. М.* Система показників і критеріїв для формалізації процесів забезпечення функціональної стійкості систем управління повітряним рухом // Вісник НАУ. – 2011. – № 7. – С. 92-97.