

УДК 621.391 : 004.056.3

І.В. Грищенко, Л.М. Зіменко

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса

## ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ ШЛЯХОМ ПІДТРИМКИ ПАРАМЕТРУ «ПОСЕРЕДНИЦТВО»

У статті розглядається питання підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж. Удосконалено метод підвищення структурної живучості вузлових елементів телекомунікаційної мережі шляхом підтримки параметру «посередництво», який, на відміну від існуючих методів, надає можливість враховувати загальну кількість використовуваних шляхів, які проходять через певний вузол. Такий підхід надає можливість отримати більш точне значення цього параметру для забезпечення необхідного рівня структурної живучості мережі.

**Ключові слова:** структура, живучість, телекомунікації, мережа, оцінка, пріоритет, «посередництво», резервування, вага, ймовірність, неуразження.

### Вступ

Розвиток телекомунікацій обумовлює необхідність створення і надійного функціонування телекомунікаційних мереж (ТКМ), що забезпечує ефективно надання послуг споживачам під час роботи з різномірною інформацією в ТКМ. Якість отриманої інформації залежить в цілому від якості функціонування ТКМ. Таким чином, однією з основних характеристик ТКМ є надання можливості отримання необхідної інформації для задоволення особистих потреб користувачів.

Ефективність функціонування ТКМ залежить від багатьох властивостей, серед яких однією з найважливіших є живучість. Забезпечення живучості ТКМ стає все більш актуальним у зв'язку з інтенсивним розвитком телекомунікаційних технологій. Живучість забезпечує визначальну можливість системи своєчасно виконувати свою місію, а саме забезпечувати прийнятний рівень обслуговування, навіть якщо нормальна експлуатація мережі ускладнюється різними проблемами. Поняття живучості (survivability) ТКМ характеризує можливість ТКМ виконувати свої основні функції не дивлячись на те, що відбуваються збої, відмови, зміни характеристик функціонування ТКМ [1].

Задачі, пов'язані з аналізом структурної живучості, зводяться до задач оцінювання зв'язності топологічної структури залежно від поняття «руйнування». Управління та підтримка структурної живучості ТКМ є важливим моментом під час її функціонування. На сьогоднішній день у зв'язку із вимогами до живучості телекомунікаційних мереж (систем) в умовах різних руйнуючих чинників природного або штучного походження питання управління та підтримки структурної живучості залишаються актуальними.

**Об'єкт та мета задачі дослідження. Метою даної роботи** є підвищення структурної живучості

ТКМ для забезпечення їх безвідмовного функціонування шляхом підтримки параметру «посередництво».

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- дослідити існуючі методи визначення параметру «посередництво»;
- проаналізувати існуючі методи підтримки параметру «посередництво» вузлів ТКМ;
- удосконалити метод визначення та підтримки параметру «посередництво» для підвищення структурної живучості ТКМ.

У представленій роботі об'єктом дослідження є процес управління структурною живучістю телекомунікаційних мереж.

Предметом дослідження є методи підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж. Під час вирішення поставлених задач використовувались методи теорії графів та методи дослідження операцій.

### Матеріали удосконалення методу підтримки параметру «посередництво»

Важливою складовою системи, що забезпечує успішне функціонування мережі – є вибір показників живучості, а також вибір критеріїв живучості. При розрахунках показників, що характеризують живучість мережі, враховуються параметри вузлів мережі. Серед багатьох параметрів в даній роботі, на підставі проведеного аналізу, обраний найбільш важливий для забезпечення живучості мережі параметр – «посередництво» [2]. Це вузловий параметр, що відображає роль вузла у встановленні зв'язків у мережі з урахуванням кількості шляхів передачі інформації, що проходять через нього. При цьому визначається важливість або значимість вузлів. «Посередництво» іноді позначається як навантаженість (loading). Особлива увага приділяється вузлам

з великим рівнем посередництва, оскільки вони відіграють головну роль у встановленні зв'язків з іншими вузлами.

Відомими методам і способами забезпечення живучості є резервування вузлового обладнання [2-4]. На відміну від відомих методів визначення параметру «посередництво», в представленій роботі запропоновано визначити «посередництво» вузлів, враховуючи загальну кількість використовуваних шляхів, що проходять через цей вузол, що надає можливість отримання більш точного значення цього параметру. Такий підхід до визначення параметра «посередництво» базується на тому, що в найбільш застосованих в теперішній час протоколах маршрутизації OSPF, IGRP, EIGRP та інших існує можливість застосування декількох маршрутів з однаковими метриками і навіть з різними метриками для доставки повідомлень.

Особливістю розробленого методу підтримки параметру «посередництво» є те, що отримується значення даного параметру для будь якого вузла мережі, а також приводиться оцінка ймовірності неураження функціонування зв'язку довільної пари, яка забезпечує необхідний рівень структурної живучості мережі.

«Посередництво» вузла  $q$  –  $N_q$  визначимо відношенням кількості шляхів  $\Pi_{ij}^q$  із вузла  $i$  в вузол  $j$ , через вузол  $q$ , до загальної кількості шляхів з вузла  $i$  у вузол  $j$  –  $\Pi_{ij}$  ( $i, j = \overline{1, n}; i \neq j; n$  – кількість вузлів мережі) [5].

$$N_q = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Pi_{ij}^q}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Pi_{ij}}. \quad (1)$$

У відповідності з виразом (1) параметр  $N_q \leq 1$  і чим ближче  $N_q$  до одиниці, тим більш високий рівень посередництва має вузол  $q$ . У виразі (1) параметр  $N_q$  визначається без урахування значимості потоків в  $\phi_{ij}$ , що використовують шляхи  $\mu_{ij}^k \in m_{ij}$ .

Рівень посередництва вузлів з урахуванням значимості  $V_{ij}^k$  шляхів  $\mu_{ij}^k$  може бути визначений наступним чином.

Введемо такі позначення:

$(\mu_{ij}^k)^q \in m_{ij}^q$  – множина шляхів з  $i$  в  $j$ , що проходять через вузол  $q$ ;

$(V_{ij}^k)_q$  – вага (значимість шляху)  $\mu_{ij}^k$ ;

$(V_{ij}^k)$  – визначається виходячи з рангу (чи пропускної спроможності шляху).

Якщо визначення ваги здійснюється по рангу, то вага  $V_{ij}^k$  будь-якого шляху  $\mu_{ij}^k$  визначається як таким чином [6]:

$$V_{ij}^k = \frac{r_{\max}}{r_{ij}^k}, \quad (2)$$

де  $r_{\max}$  – максимально можливий ранг усіх використаних шляхів в мережі;  $r_{ij}^k$  – ранг шляху  $\mu_{ij}^k$ .

Якщо визначення ваги здійснюється по пропускній спроможності, то вага  $V_{ij}^k$  будь-якого шляху  $\mu_{ij}^k$  визначається таким чином [6]:

$$V_{ij}^k = U_{ij}^k / U_{\max}, \quad (3)$$

де  $U_{\max}$  – максимально можлива пропускна спроможність шляхів в мережі;  $U_{ij}^k$  – пропускна спроможність шляху  $\mu_{ij}^k$ .

Тоді, з введенням вагових характеристик всіх шляхів, «посередництво»  $q$ -го вузла в даній роботі визначатиметься на основі такого виразу [5]:

$$N_q = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{k_{ij}^q} V_{ij}^k \Pi_{ij}^q}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^{k_{ij}^m} V_{ij}^k \Pi_{ij}}, \quad (4)$$

тут  $\Pi_{ij}^q$  – кількість шляхів  $\mu_{ij}^k$ , що проходять через вузол  $q$ ;  $V_{ij}^k$  – вагова характеристика шляху  $\mu_{ij}^k$  мережі. В якості вагової характеристики шляхів можна використовувати пріоритет вимог  $\phi_{ij}$ .

Підтримка параметру «посередництво» забезпечує необхідний рівень структурної живучості мережі. Визначення рівня посередництва вузла  $q$  –  $N_q$  пов'язане з визначенням кількості шляхів в мережі. Методи визначення кількості шляхів в мережах різної структури запропоновані в роботі [6].

На основі виразів (1) і (4) може бути отримано значення параметра «посередництво» для будь якого вузла  $q$  мережі ( $m = \overline{1, n}$ ;  $n$  – кількість пунктів мережі). Крім того, ймовірність неураження функціонування зв'язку довільної пари, що тяжіє  $(i, j)$ , яка характеризує структурну живучість всієї мережі, розраховується за такою формулою [5]:

$$P_{(ij)} = 1 - \prod_{g=1}^G (1 - p_{xy}^g)^{Q_{(ij)g,L}}, \quad (5)$$

де  $p_{xy}^g$  – ймовірність неураження гілки між довільними пунктами  $x$  та  $y$ .

Підтримання параметру «посередництво» вузлів мережі на необхідному рівні є завданням, рішення якого дозволяє забезпечити структурну живучість мережі, – є актуальним питанням при забезпеченні неураження ТКМ.

Удосконалений метод оптимального резервування вузлового обладнання складається у виконанні таких дій:

1. Побудова матриці маршрутів  $M$ , що містить шляхи  $\mu_{ij}$ , які використовуються для передачі інформації з вузла  $i$  у вузол  $j$  мережі ( $i, j = \overline{1, n}$ ;  $i \neq j$ ;  $n$  – кількість вузлів мережі);

2. Формування таблиці «ваги» вузлів (ТВВ). При формуванні «ваги» вузла враховується не тільки кількість входжень вузлів в різні маршрути, але також і значимість, пріоритет вимог (ПВ) на передачу інформації з вузла  $i$  у вузол  $j$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ;  $i \neq j$ ;  $n$  – кількість вузлів мережі), використовують дані маршрути;

3. Для усіх вузлів  $q$  мережі ( $q = \overline{1, n}$ ,  $n$  – кількість пунктів мережі) визначення кількості їх входжень в різні маршрути; тобто визначення параметра  $N_q$  у відповідності з виразом (1);

4. Перевірка: чи виконується умова (6) для кожного вузла  $q$  ( $q = \overline{1, n}$ ;  $n$  – кількість вузлів мережі) [5]:

$$P_q \geq P_{q_{\text{доп}}}, \quad (6)$$

де  $P_q$  – показник, що характеризує ймовірність неуразнення  $q$ -го вузла;  $P_{q_{\text{доп}}}$  – допустиме значення показника неуразнення  $q$ -го вузла, яке залежить від рівня посередництва  $N_q$  вузла  $q$ . Значення  $P_{q_{\text{доп}}}$  може задаватися з використанням експертних оцінок на основі вимог до систем забезпечення якості [7].

Виконання умови (6) для вузла  $q$  ( $q = \overline{1, n}$ ) означає, що показник неуразнення вузлів відповідає допустимому значенню і немає необхідності резервування обладнання вузлів для забезпечення живучості мережі. При невиконанні умови (6) – перехід до п.5.

5. Формування списку вузлів  $q$ , для яких умова (6) не виконується в послідовності, обумовленою пріоритетом вимог, маршрути яких проходять через вузли  $q$ ;

6. Формування задачі оптимального резервування як задачі лінійного програмування [5].

$$C = \sum_{q=1}^n c_q x_q \rightarrow \min \quad (7)$$

при  $P_{\text{мережі}} \geq P_{\text{доп}}$ , де  $x_q$  – кількість резервних елементів на  $q$ -м вузлі;  $c_q$  – вартість резерву  $q$ -го вузла;  $n$  – кількість резервованих вузлів.

Далі знаходимо оптимальну структуру резерву обладнання вузлів мережі  $X = (x_1, x_2, \dots, x_q, \dots, x_n)$ , що забезпечує мінімальні сумарні витрати  $C$  на елементи резерву обладнання вузлів з метою підтримки параметра «посередництво» на необхідному рівні. В якості показника структурної живучості запропоновано використовувати такі показники:

–  $P_{ij}$  – ймовірність неуразнення зв'язку (живучість)  $m_{ij}$  як ймовірність неуразнення (живучість) хоча б одного шляху  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ ;

–  $P_{\text{мережі}}$  – показник структурної живучості мережі, що досягається після резервування вузлів;

–  $\bar{V}_{\max} c_p$  – середньозважена величина максимального потоку в мережі;

–  $\bar{P}_{\min} c_p$  – середньозважена величина найкоротших шляхів;

а також середньозважену оцінку показників структурної живучості – середньозважена величина максимального потоку і середньозважена величина найкоротших шляхів [8]:

$$\bar{V}P_{\text{СВ}} = \bar{V}_{\max} \text{СВ} + W_f + \bar{P}_{\min} \text{СВ} \cdot W_r,$$

де  $W_f$  і  $W_r$  – вагові характеристики оцінок для максимальних потоків і найкоротших шляхів, відповідно, що визначаються виходячи з умови  $W_f + W_r = 1$ .

Використання представлених показників структурної живучості  $\bar{V}_{\max} \text{СВ}$ ,  $\bar{P}_{\min} \text{СВ}$ ,  $\bar{V}P_{\text{СВ}}$ , залежить від обраного критерію, що характеризує структурну живучість мережі;  $P_{\text{доп}}$  – показник структурної живучості мережі, який визначається виходячи з вимог до систем забезпечення якості.

Резервування проводиться в послідовності пріоритетів вимог і ваги вузлів. Процес резервування завершується, коли буде виконана умова (6).

Мінімізація витрат (7) при цьому забезпечується за рахунок запропонованої послідовності вибору чергових елементів списку ПВ відповідно до їх пріоритетів і резервування вузлів мережі у відповідності з послідовністю, яка визначається «вагами» вузлів ТВВ.

Рішення задачі оптимального резервування може здійснюватися у формі зворотного завдання (при обмежених ресурсах): максимізувати показник структурної живучості мережі  $P$  [9]:

$$P_{\text{мережі}} \rightarrow \max \quad (8)$$

при обмеженнях:

$$C_{ij} \leq C_{ij\text{тр}}.$$

$P_{\text{мережі}}$  розраховується як середнє (9) або середньозважене (10) (удосконалений метод) значення ймовірності неуразнення (живучості) зв'язків  $(i, j)$  [9]:

$$P_{\text{мережі}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n P_{ij}; \quad (9)$$

$$P_{\text{мережі}} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij} P_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij}}, \quad (10)$$

тут  $d_{ij}$  значимість або пріоритетність потоків  $\phi_{ij}$ , що використовують шляхи  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ .

Таким чином, рішення задачі оптимального резервування дає можливість визначати структуру резерву вузлів мережі, що забезпечує стійке функціонування мережі відповідно до вимог та забезпечення заданого рівня параметра «посередництво» вузлів мережі.

### Результати досліджень забезпечення структурної живучості удосконаленням методом підтримки параметру «посередництво»

У якості порівняльного аналізу проведемо експериментальне порівняння існуючих підходів до резервування вузлового обладнання з метою підтримки параметру посередництво та удосконаленого, в рамках даної роботи, методу підтримки параметру «посередництво». Забезпечуючи живучість мережі, спочатку виконаємо резервування вузлів мережі без формування вагових характеристик та задавання коефіцієнта, що враховує пріоритетність потоків. Розрахунки виконаємо для мережі представлені на рис. 1.

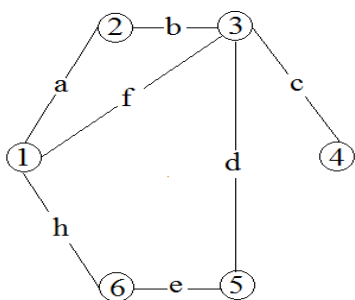


Рис. 1. Граф мережі

**Формування вхідних параметрів.** Мережа обслуговує потоки, що надходять:  $\phi_{15}, \phi_{25}, \phi_{36}$ .

Оцінюючи живучість ТКМ, для кожної заданої вимоги формується множина шляхів  $m_{ij}$  для обслуговування. Функції станів здатності можуть бути записані для всіх пар  $(i, j)$ . З багатьох шляхів, що отримано для кожної вимоги, оберемо допустимі шляхи, враховуючи задані значення ймовірності неуразнення гілок (табл. 1), вважаючи допустимими шляхи, ранг яких  $d \leq 3$ . Множини допустимих шляхів у ДНФ:

$$\begin{aligned} m_{15}^{d \leq 3} &= he + fd + abd; \\ m_{25}^{d \leq 3} &= bd + ahe + afd; \\ m_{36}^{d \leq 3} &= fh + de + bah. \end{aligned} \quad (11)$$

Вартість резервного обладнання вузлів та гілок в деяких у.о. (умовних одиницях) наведені у табл. 1. Необхідно забезпечити заданий рівень структурної живучості вузлів ТКМ  $R_{доп} = 0,9880$ . Попередні

розрахунки значень показників живучості представлені у табл. 2.

Таблиця 1

Задані характеристики мережі

|                      |      |      |      |      |      |      |     |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Гілка                | a    | b    | c    | d    | e    | f    | h   |
| Ймовірн. неуразнення | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9 |
| Вузол                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |     |
| Вартість (у.о)       | 2    | 6    | 4    | 1    | 5    | 3    |     |
| Ймовірн. неуразнення | 0,80 | 0,90 | 0,85 | 0,90 | 0,75 | 0,90 |     |

Таблиця 2

Попередні розрахунки значень показників живучості вузлів

|   |        |        |        |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | $P_1$  | $P_2$  | $P_3$  | $P_4$  | $P_5$  | $P_6$  |
| 0 | 0,8000 | 0,9000 | 0,8500 | 0,9000 | 0,7500 | 0,9000 |
| 1 | 0,9600 | 0,9900 | 0,9700 | 0,9900 | 0,9300 | 0,9900 |
| 2 | 0,9920 | 0,9990 | 0,9960 | 0,9990 | 0,9840 | 0,9990 |
| 3 | 0,9984 | 0,9999 | 0,9994 | 0,9999 | 0,9960 | 0,9999 |
| 4 | 0,9996 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9990 | 0,9999 |

Спочатку виконаємо розрахунок резервування вузлів без урахування пріоритетності потоків.

Розраховується значення градієнта, відповідно до такого виразу [8]:

$$\gamma(m_i + 1) = \frac{p_i(m_i + 1) - p_i(m_i)}{c_i * p_i(m_i)} \quad (12)$$

для всіх вузлів мережі враховуючи вартість всіх вузлів, що наведені у табл. 1.

Розраховується  $P_{ij}$  – ймовірність неуразнення зв'язку (живучість)  $m_{ij}$ , як ймовірність неуразнення (живучість) хоча б одного шляху  $\mu_{ij} \in m_{ij}$  у відповідності з таким виразом:

$$P_{ij} = \left( 1 - \prod_{\mu_{ij}^k \in m_{ij}} \left( 1 - \prod_{b_{xy} \in \mu_{ij}^k} p_{xy} \right) \right), \quad (13)$$

тут  $p_{xy}$  – ймовірність неуразнення гілок  $b_{xy} \in \mu_{ij}^k$ , де  $k$  – номер чергового шляху  $\mu_{ij}^k$  множини  $m_{ij}$ , що визначається на підставі урахування НВ. Цей показник можна вважати як ймовірність неуразнення гілки  $b_{xy}$ . Такий підхід також запропоновано у роботі [10].

У відповідності з виразом (13) розрахунок  $P_{ij}$  здійснюється за умови незалежності шляхів, тобто формується верхня оцінка живучості зв'язку (верхня оцінка ймовірності неуразнення зв'язку  $i, j$ ).

З урахуванням залежності шляхів, тобто ситуації, коли деяка гілка  $b_{xy}$  може входити в різні шляхи  $\mu_{ij}$ , розрахунок дійсного показника надійності зв'язку здійснюється таким чином. У виразі (13) розкриваються дужки, після чого всі показники ступеня

при  $r_{xy}$ , які більше за одиницю (що відбувається, коли гілка  $b_{xy}$  входить в різні шляхи), замінюються на одиницю [8]. Отримуються ймовірності неуразнення для шляхів  $m_{15}^{d \leq 3}$ ,  $m_{25}^{d \leq 3}$ ,  $m_{36}^{d \leq 3}$  та середнє значення ймовірності неуразнення всіх зв'язків мережі, відповідно виразу (9).

Оскільки умова забезпечення допустимого рівня живучості  $P_{\text{доп}} = 0,9880$  не виконуються та отримане значення  $P_{\text{мережі}}$  менше, ніж допустиме  $0,9407 < 0,9880$ , здійснюється перехід до резервування обладнання вузлів для підтримки параметру «посередництво».

Визначимо посередництво вузлів, відповідно до виразу (1).

Формуючи список вузлів  $q$ , для яких умова (6) не виконується, маршрути яких проходять через вузол  $q$ , можна визначити, що найбільшим показником «посередництва» серед всіх вузлів мережі володіє вузол посередник  $N_{q1} = 0,28$ .

Першим виконуємо резервування першого вузла. Після виконання резервування вузла  $N_{q1}$  знову виконуємо розрахунок ймовірності неуразнення зв'язку  $P_{ij}$ , з включенням резервного елемента для вузла  $N_{q1}$  мережі  $P_{15} = 0,9626$ ;  $P_{25} = 0,9532$ ;  $P_{36} = 0,9676$ .

Виконаємо розрахунок середнього значення ймовірності неуразнення всіх зв'язків та перерахування значення градієнта для вузла  $N_{q1}$ .

Вартість резервного обладнання відповідно таблиці 1, складає 2 у.о.

Оскільки  $P_{\text{доп}} = 0,9880 > P_{\text{мережі}} = 0,9611$  після виконання резервування вузла  $N_{q1}$ , продовжуємо виконувати резервування доти, поки отримане значення показника  $P_{\text{мережі}}$  не досягне  $P_{\text{доп}} = 0,9880$ .

Перерахування значення градієнта для вузла  $N_{q1}$ , відповідно виразу (12). Оскільки на цьому етапі найбільше значення  $\epsilon$  у вузла  $N_{q5}$  другим виконуємо резервування вузла 5. Далі розрахунки відбуваються за попередньою схемою, а результати вносяться до табл. 3.

Результатом останнього розрахунку при вирішенні задачі резервування вузлів-посередників, отримуємо середнє значення ймовірності неуразнення всіх зв'язків мережі. Оскільки  $P_{\text{доп}} = 0,9880 = P_{\text{мережі}} = 0,9880$  процес резервування завершується. Структура резерву вузлів мережі матиме наступний вигляд:  $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (3, 2, 2, 0, 2, 2)$ , при цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 42 у.о. при допустимому показнику посередництва  $P_{\text{доп}} = 0,9880$ .

Тепер виконаємо реалізацію удосконаленого методу забезпечення структурної живучості ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво», задавши вагові характеристики та коефіцієнти, що враховують важливість, або пріоритет потоків мережі. Задамо вхідні параметри, які ідентичні попередньому прикладу та задані у табл. 1. Мережа обслуговує такі ж самі потоки, що надходять. Як і у попередньому прикладі, необхідно забезпечити заданий рівень живучості вузлів ТКМ  $P_{\text{доп}} = 0,9880$ . Для кожної заданої вимоги формується множина шляхів, що представлені у (11).

Для кожного вузла мережі розрахуємо вагові характеристики. Для цього спочатку задамо коефіцієнт, що враховує важливість, або пріоритет потоків  $\phi_{ij}$  відповідно до умови  $d_{ij} \geq 1$ . Для потоку  $m_{15}^{d \leq 3} - d_{ij} = 1$ ; для потоку  $m_{25}^{d \leq 3} - d_{ij} = 2$ ; для потоку  $m_{36}^{d \leq 3} - d_{ij} = 3$ . Попередні розрахунки показників живучості кожного вузла представлені у табл. 2. Значення градієнта для всіх вузлів мережі представлено відповідно виразу (12).

Таблиця 3

Результати розрахунків резервування вузлів без урахування пріоритетності потоків

| № кроку | $N_{q1}$ | a     | $N_{q2}$ | b     | $N_{q3}$ | d     | $N_{q5}$ | e     | $N_{q6}$ | f     | h     | $P_{\text{мережі}}$ | C  |
|---------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-------|---------------------|----|
| 0       | 0,800    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,850    | 0,900 | 0,750    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,900 | 0,9407              | 0  |
| 1       | 0,960    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,850    | 0,900 | 0,750    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,900 | 0,9611              | 2  |
| 2       | 0,960    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,850    | 0,900 | 0,930    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,900 | 0,9653              | 7  |
| 3       | 0,960    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,970    | 0,900 | 0,930    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,900 | 0,9784              | 11 |
| 4       | 0,960    | 0,900 | 0,900    | 0,900 | 0,970    | 0,900 | 0,930    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,900 | 0,9817              | 14 |
| 5       | 0,960    | 0,990 | 0,990    | 0,900 | 0,970    | 0,900 | 0,930    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,900 | 0,9837              | 20 |
| 6       | 0,990    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,970    | 0,900 | 0,930    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,900 | 0,9856              | 22 |
| 7       | 0,990    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,970    | 0,900 | 0,980    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,900 | 0,9863              | 27 |
| 8       | 0,990    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,980    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,900 | 0,9875              | 31 |
| 9       | 0,990    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,980    | 0,900 | 0,992    | 0,900 | 0,900 | 0,9877              | 34 |
| 10      | 0,998    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,980    | 0,900 | 0,992    | 0,900 | 0,9   | 0,9879              | 36 |
| 11      | 0,998    | 0,900 | 0,999    | 0,900 | 0,990    | 0,900 | 0,980    | 0,900 | 0,992    | 0,900 | 0,900 | 0,9880              | 42 |

Після моделювання процесів виходу зі стану працездатності гілок  $b_{xy}$  мережі ( $x, y = \overline{1, n}$ ,  $x \neq y$ ,  $n$  – кількість пунктів мережі), кожній гілці присвоюється вагова характеристика  $W_{xy}$ , відповідна значущості гілки, яка визначається виходячи з кількості порушуваних зв'язків  $k_{ij}$  при виході гілки  $b_{xy}$  зі стану працездатності [11]:

$$W_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}, \quad (14)$$

тут кількість шляхів  $k_{ij}$  в які входить гілка  $(x, y)$ , визначається на основі розрахунку [6], де в мережі з  $L$  гілками кількість шляхів рангу  $r$ , що включають задану гілку, визначається як відношення сумарної кількості гілок, що беруть участь в утворенні всіх шляхів рангу  $r$ , до кількості  $L$  гілок мережі.

Ранг  $r$  шляху – це кількість гілок, що складають шлях. Це дає можливість оцінити кількість шляхів  $m_{r,L}$ , що залишаються після видалення однієї гілки з мережі [6].

Кількість шляхів визначається у відповідності з планом розподілення інформаційних потоків. З урахуванням пріоритетності  $d_{ij}$  потоків, що використовують шляхи  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ , вираз (14) в даній роботі представлено у такому вигляді [11]:

$$W_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (k_{ij} * d_{ij}), \quad (15)$$

тут  $d_{ij} \geq 1$  – коефіцієнт, що враховує важливість, або пріоритет, потоків  $\phi_{ij}$ .

Таблиця 4  
Вагові характеристики вузлів

| Вузол                          | W <sub>1</sub> | W <sub>2</sub> | W <sub>3</sub> | W <sub>4</sub> | W <sub>5</sub> | W <sub>6</sub> |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| W <sub>ij</sub> <sup>k</sup>   | 10             | 4              | 6              | 0              | 3              | 3              |
| γ*W <sub>ij</sub> <sup>k</sup> | 1              | 0,04           | 0,18           | 0              | 0,15           | 0,09           |

Таким чином, вагові оцінки отримують всі вузли, що беруть участь в обслуговуванні потоків мережі. Тоді, з введенням вагових характеристик всіх шляхів, «посередництво»  $q$ -го вузла визначатиметься на основі виразу (4).

Розрахуємо середньозважене значення  $P_{ij}$  ймовірності неуразнення зв'язку (живучість)  $m_{ij}$ , як ймовірність неуразнення (живучість) хоча б одного шляху  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ . Отримуємо ймовірності неуразнення для шляхів  $m_{15}^{d \leq 3} = 0,9626$ ;  $m_{25}^{d \leq 3} = 0,9253$ ;  $m_{36}^{d \leq 3} = 0,9343$ . Оскільки умова забезпечення допустимого рівня живучості  $P_{доп} = 0,9880$  не викону-

ються та отримане значення  $P_{мережі}$  менше, ніж допустиме  $0,9361 < 0,9870$ , – здійснюється перехід до резервування вузлового обладнання для підтримки параметру «посередництво».

Формуючи список вузлів  $q$ , для яких умова  $N_q \leq N_{доп}$  не виконується, в послідовності обумовленою пріоритетом вимог, маршрути яких проходять через вузол  $q$ , можна визначити, що найбільшим показником «посередництва» серед всіх вузлів мережі володіє вузол посередник  $N_{q1} = 0,38$ .

Після виконання резервування вузла  $N_{q1}$  знову виконуємо розрахунок ймовірності неуразнення зв'язку  $P_{ij}$ , з включенням резервного елемента для вузла  $N_{q1}$  мережі.  $P_{15} = 0,9626$ ;  $P_{25} = 0,9532$ ;  $P_{36} = 0,9676$ .

Виконаємо розрахунок середньозваженого значення ймовірності неуразнення всіх зв'язків відповідно формулі (10). Вартість резервного обладнання відповідно табл. 1, складає 2 у.о. Оскільки  $P_{доп} = 0,9880 > P_{мережі} = 0,9620$  після виконання резервування вузла  $N_{m1}$ , продовжуємо виконувати резервування доти, поки отримане значення показника  $P_{мережі}$  не досягне  $P_{доп} = 0,9880$ .

Перерахуємо значення градієнта для вузла  $N_{q1}$ , для якого щойно було виконано резервування відповідно. Розрахунок вагової характеристики відбувається з урахуванням пріоритетності потоків:

$$\gamma * W = 0,01 * 10 = 0,1.$$

Оскільки на цьому етапі найбільше значення є у вузла  $N_{q3}$  другим виконуємо резервування вузла 3.

Оскільки  $P_{доп} = 0,9880 = P_{мережі} = 0,9880$ , то процес резервування завершується.

Розрахунок резервування вузлів удосконаленим методом підвищення живучості ТКМ, а результати вносяться до табл. 5.

Структура резерву вузлів мережі, що забезпечуватиме стійке функціонування мережі відповідно до вимог та забезпечуватиме заданий рівень параметру «посередництво» матиме наступний вигляд:  $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (3, 1, 2, 0, 2, 2)$ , при цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 36 у.о. при допустимому показнику посередництва  $P_{доп} = 0,9880$ .

Порівнюючи результати існуючих методів підвищення структурної живучості шляхом резервування вузлового обладнання та удосконаленого методу підвищення структурної живучості шляхом підтримки параметру «посередництво» можна зазначити, що удосконалений метод забезпечує зменшення кількості ітерацій процесу та зменшення потрібних витрат на резервне обладнання.

Таблиця 5

Результати розрахунків резервування вузлів удосконаленим методом

|    | N <sub>q1</sub> | a     | N <sub>q2</sub> | b     | N <sub>q3</sub> | d     | N <sub>q5</sub> | e     | N <sub>q6</sub> | f     | h     | P <sub>мережі</sub> | C  |
|----|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-------|---------------------|----|
| 0  | 0,800           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,850           | 0,900 | 0,750           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,900 | 0,9360              | 0  |
| 1  | 0,960           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,850           | 0,900 | 0,750           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,900 | 0,9620              | 2  |
| 2  | 0,960           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,970           | 0,900 | 0,750           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,900 | 0,9723              | 6  |
| 3  | 0,960           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,970           | 0,900 | 0,930           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,900 | 0,9785              | 11 |
| 4  | 0,990           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,970           | 0,900 | 0,930           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,900 | 0,9812              | 13 |
| 5  | 0,990           | 0,900 | 0,900           | 0,900 | 0,970           | 0,900 | 0,930           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,900 | 0,9836              | 16 |
| 6  | 0,990           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,970           | 0,900 | 0,930           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,900 | 0,9854              | 22 |
| 7  | 0,990           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,970           | 0,900 | 0,980           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,900 | 0,9865              | 27 |
| 8  | 0,998           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,970           | 0,900 | 0,980           | 0,900 | 0,990           | 0,90  | 0,900 | 0,9869              | 29 |
| 9  | 0,998           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,980           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,900 | 0,9878              | 33 |
| 10 | 0,998           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,990           | 0,900 | 0,980           | 0,900 | 0,999           | 0,900 | 0,900 | 0,9880              | 36 |

Подальші розрахунки для мереж більшої розмірності показали, що удосконалений метод забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 8-10%.

## Висновки

Удосконалено метод підвищення структурної живучості елементів ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво», який, на відміну від існуючих, надає можливість враховувати загальну кількість використовуваних шляхів, що проходять через певний вузол з урахуванням протоколів маршрутизації OSPF, IGRP, EIGRP, що дозволяє отримати більш точне значення цього параметру для забезпечення необхідного рівня структурної живучості мережі.

## Список літератури

1. Додонов А.Г. Введение в теорию живучести вычислительных систем [Текст] / А.Г. Додонов, М.Г. Кузнецова, Е.С. Горбачик. – К.: Наукова думка, 1990. – 181 с.
2. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем [Текст] / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К.: Наукова думка, 2011. – 256 с.
3. Tech Share Информационные технологии и электроника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.techshare.ru>. – дата звернення 15.09.2015.
4. Механизм установка соединения с резервированием полосы пропускания [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://truport.ru/foo\\_page2/muprtraff\\_6.html](http://truport.ru/foo_page2/muprtraff_6.html). – дата звернення 22.10.2015.

5. Грищенко И.В. Метод повышения живучести инфокоммуникационной сети [Текст] / И.В. Грищенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2013. – № 6 (146). – С. 66-70.

6. Князева Н.А. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры [Текст] / Н.А. Князева, А.Л. Ненов // К.: Вісник ДУІКТ. – 2011. – Т. 9, № 4. – С. 318-325.

7. Державний стандарт України «Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Загальні технічні вимоги». Чинний від 01.07.1995р. – Київ, Держстандарту України.

8. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж Ч. 1. Основи системного підходу до проектування [Текст] / Н.О. Князева, О.А. Князева. – Одеса: ВМВ, 2012. – 212 с.

9. Князева Н.А. Обеспечение живучести в сетях NGN (Next Generation Network) [Текст] / Н.А. Князева, И.В. Грищенко // Збірник наукових праць. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2012. – С. 116-117.

10. Князева Н.А. Метод обеспечения структурной живучести телекоммуникационной сети [Текст] / Н.А. Князева // ITNEA International Conf. 2013. – С. 275-284.

11. Князева Н.А. Повышение живучести инфокоммуникационной сети путем структурного резервирования [Текст] / Н.А. Князева, И.В. Грищенко // Київ, Вісник ДУІКТ, 2012. – №2. – С. 21–25.

Надійшла до редколегії 17.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.О. Князева, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса.

## ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ ШЛЯХОМ ПІДТРИМКИ ПАРАМЕТРУ «ПОСЕРЕДНИЦТВО»

И.В. Грищенко, Л.Н. Зименко

В статье рассматривается вопрос повышения структурной живучести телекоммуникационных сетей. Усовершенствован метод повышения структурной живучести узловых элементов телекоммуникационной сети путем поддержки параметра «посредничество».

**Ключевые слова:** структура, живучесть, телекоммуникации, сеть, оценка, приоритет, «посредничество», резервирование, вес, вероятность, неуразжения.

## IMPROVEMENT OF THE METHOD OF INCREASING STRUCTURAL SURVIVABILITY BY SUPPORTING THE PARAMETER "MEDIATION"

I.V. Gryshchenko, L.M. Zimenko

This paper deals with the issue of increasing the structural survivability of the telecommunications network. Improved method of enhancing the structural robustness of the node elements of the telecommunication network by supporting the setting of «mediation».

**Keywords:** structure, survivability, telecommunication, network, assessment, priority, «intermediary», redundancy, weight, adverse effect.