

Н.О. КНЯЗЄВА

Одеська національна академія харчових технологій

О.А. КНЯЗЄВ

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова

МЕТОД ОЦІНКИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НЕВИЗНАЧЕНОЇ ТОПОЛОГІЇ

Анотація. В статті зазначено, що на сучасному етапі розвитку телекомунікацій, який характеризується ускладненням структури телекомунікаційних мереж, розширенням типів надаваних сервісів, а також розвитком самоорганізованих мереж, завдання оцінки та забезпечення структурної живучості мереж невизначеної топології, в тому числі і самоорганізованих мереж, стають все більш актуальними. Показано, що вирішення проблеми забезпечення структурної живучості є одним з важливих елементів комплексної системи захисту інформації.

Відзначено, що існуючі методи оцінки структурної живучості орієнтовані на застосування для мереж із заздалегідь відомою топологією і в випадках, коли структура мережі постійно змінюється, або ще не сформована, ці методи виявляються малоприматними. Запропоновано метод, що передбачає отримання оцінок структурної живучості мережі з невизначеною топологією, яка характеризується тільки параметрами – розмірністю мережі, ступенем її зв'язності, максимально допустимим рангом шляхів, що використовуються для організації зв'язку (ранг – число гілок (ділянок), що складають шлях). Метод складається в визначенні верхньої і нижньої меж структурної живучості. Верхня межа структурної живучості формується на основі множини шляхів, які можуть використовуватися для організації зв'язків. Нижня межа – на основі множини розрізів, які поділяють використовувані шляхи. Надано вирази для визначення числа шляхів різних рангів, які можуть бути використані для обслуговування заявок, що надходять в мережу невизначеної топології, а також розрізів, які поділяють шляхи. Представлені вирази, що дозволяють визначити верхню і нижню межі структурної живучості для кожного зв'язку і мережі в цілому.

Задача забезпечення необхідного рівня структурної живучості сформульована як задача лінійного програмування, в результаті вирішення якої формується оптимальна структура резерву ділянок шляхів (розрізів), з урахуванням якої і здійснюється оцінка структурної живучості мережі з невизначеною топологією. Визначено напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: мережа невизначеної топології, структурна живучість, захист інформації, нижня та верхня межа структурної живучості, путь, розріз, структура резерву.

N. KNIAZIEVA

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

A. KNIAZIEV

Odessa National A.S. Popov Academy of Telecommunications

METHOD OF THE ESTIMATION AND MAINTENANCE OF STRUCTURAL SURVIVABILITY OF THE TELECOMMUNICATION NETWORK OF INDETERMINE TOPOLOGY

The summary. In article it is noticed that at the present stage of development of telecommunications which is characterised by complication of structure of telecommunication networks and occurrence of new threats of safety of the information, expansion of types of services, and also development of the self-organised networks, a problem of an estimation and maintenance of structural survivability of networks of indeterminate topology including the self-organised networks, become more and more actual. It is proved that the solution of a problem of maintenance of structural survivability is one of important elements of complex system of protection of the information.

It is noticed that existing methods of an estimation of structural survivability are focused on application for networks with in advance known topology. In cases when the network structure constantly changes or it is not generated yet, these methods appear of little use. The method which provides reception of estimations of structural survivability of a network with indeterminate topology which is characterised only by parametres is offered: dimension of a network, degree of its connectivity, as much as possible admissible rank of routes which are used for the communication organisation (a rank - number of branches (sites), making a route). The method is based on definition of the top and bottom borders of structural survivability.

Expressions for definition of number of routes of different ranks which can be used for service of the demands arriving in a network of indeterminate topology, and also sections which divide routes are presented. The presented expressions, allowing to define the top and bottom borders of structural survivability for each communication and a network as a whole.

Necessity of maintenance of necessary level of structural survivability as a problem of linear programming as a result of which decision the optimum structure of a reserve of sites of routes (sections) with which account the estimation of structural survivability of a network with indeterminate topology is formulated. Directions of the further researches are defined.

Keywords: a network of indeterminate topology, structural survivability, protection of information, the bottom and top border of structural survivability, a route, section, reserve structure.

Вступ. На сучасному етапі розвитку телекомунікацій, що характеризується ускладненням структури телекомунікаційних мереж (ТКМ), розширенням типів надаваних сервісів, зростанням обсягів трафіку, що передається, розвитком самоорганізованих мереж, завдання оцінки та забезпечення живучості ТКМ набувають все більшої актуальності як в сфері проектування, так і при експлуатації ТКМ. Оскільки ТКМ відносяться до структурних систем, особливого значення для ТКМ набувають питання оцінки та забезпечення структурної живучості. Структурна живучість розглядається як можливості реконструкції,

реорганізації, реконфігурації при несприятливих впливах (НВ), що дозволить створити структуру, яка забезпечує виконання критичної підмножини функцій для досягнення мети функціонування системи. До таких впливів можна віднести, серед іншого, прояви кіберзагроз, а саме наявність небажаного та/чи несанкціонованого доступу до ТКМ різними шляхами, насамперед через втручання через мережу Інтернет та/чи через прямий доступ до мережі шляхом протиправного підключення. Ті та інші впливи можуть вчиняти суттєвої шкоди як безпосередньо живучості ТКМ, так і заподіювати більш суттєвої шкоди – скорочення працездатності мережі, крадіжки інформації та даних тощо. Таким чином все більшої актуальності набуває необхідність розробки теоретичних основ оцінки та формування підходів щодо удосконаленого забезпечення живучості ТКМ.

При розгляді структурної живучості враховується топологія мережі, міжкомпонентні зв'язки та характеристики живучості компонентів. Структурну живучість системи можна оцінювати при деяких допущеннях, які дозволяють спростити завдання оцінки й звести його до завдання аналізу зв'язності графів, оцінки імовірності формування працездатної структури у випадку НВ тощо [1-3].

Існуючі методи оцінки та забезпечення структурної живучості ТКМ орієнтовані на застосування для мереж з визначеною топологією. Проте у випадках, коли структура мережі постійно змінюється або ще не сформована в ході проектування, особливо коли мова йде про самоорганізовані мережі, ці методи виявляються малоприматними або взагалі непридатними. У цих умовах більш придатним є підхід, що припускає одержання оцінок структурної живучості ТКМ на підставі урахування лише базових структурних характеристик ТКМ – розмірності мережі, ступеня її зв'язності, максимально припустимого рангу шляхів, що використовуються для організації зв'язку, тощо (ранг – число гілок (ділянок) шляху). Таким чином, мова йде про мережу невизначеної топології, що характеризується тільки параметрами: кількістю пунктів (вузлів) і ліній зв'язку (гілок), при цьому залишається невідомим, які саме пункти мають безпосередній зв'язок.

Мета статті. Метою статті є розробка методу оцінки та забезпечення живучості мереж з відомим на визначений момент часу числом вузлів та гілок, але заздалегідь невідомою або невизначеною топологією.

Основна частина. На сьогодні методичний апарат аналізу структурної живучості мереж досить добре розроблений, існують відомі методи й моделі оцінки та забезпечення структурної живучості мереж [1-3], серед яких можна виділити універсальні, придатні для аналізу довільних мережних структур, і спеціалізовані, які враховують певні особливості аналізованої мережі й за рахунок цього дозволяють одержати більш точні оцінки.

Відомо, що оцінка показників живучості систем здійснюється аналітичними методами, які базуються на використанні логіко-імовірнісних, детермінованих і стохастичних моделей невідновлюваних і відновлюваних систем, а також методами, які засновані на використанні штучного інтелекту [1-3]. Особливе значення для ТКМ, структурних систем, набуває використання оцінок структурної живучості, заснованих на використанні потокового підходу. Саме потоковий похід дозволяє [1, 3]:

- обґрунтувати вимоги до структури ТКМ з урахуванням заданого рівня показника структурної живучості;
- вибрати кращий за показником структурної живучості проект системи з розглянутих альтернатив;
- забезпечити показникам структурної живучості максимальне значення в деякій області допустимих значень.

У роботі [4] наведений метод забезпечення структурної живучості підсистеми ТКМ із фіксованою структурою, що реалізує потоковий підхід з використанням запропонованого показника структурної живучості, який визначається на основі використання множини шляхів обслуговування заявок, що надходять у мережу, і множини розрізів, що розділяють множину шляхів.

У мережах невизначеної топології множина шляхів, які можуть бути використані для обслуговування кожної заявки, невідома, також невідома й множина розрізів, що ускладнює завдання оцінки та забезпечення структурної живучості мереж з невизначеною топологією.

У даній роботі запропонований метод оцінки та забезпечення структурної живучості мереж з невизначеною топологією на основі показника структурної живучості $P_{ПСЖ}$, що визначається з використанням нижньої ($P_{НМСЖ}$) і верхньої ($P_{ВМСЖ}$) меж структурної живучості.

Вибір показника $P_{ПСЖ}$ на основі $P_{НМСЖ}$ і $P_{ВМСЖ}$ визначається тим, що даний показник задовольняє основним вимогам [1], а саме:

- а) за смисловим змістом $P_{ПСЖ}$ визначається на основі потокового підходу, який використовується для вирішення завдань синтезу живучих систем, оцінки, забезпечення і підвищення живучості систем;
- б) необхідний рівень системності досліджень забезпечується врахуванням множини шляхів, організованих для обслуговування заявок на надання сервісів, що надходять в мережу, і множини розрізів, які поділяють ці шляхи;
- в) показник $P_{ПСЖ}$ має високу ступінь формалізації, що дозволяє виконати його розрахунок і провести дослідження його змін при зміні ситуації в ТКМ;
- г) розрахунок $P_{ПСЖ}$ здійснюється на основі врахування вимог на надання сервісів, що надійшли в ТКМ, і можливостей по їх обслуговуванню, що дозволяє забезпечити чутливість показника до будь-яких змін на рівні характеристик ТКМ.

Зв'язок між парою вузлів, що тяжіють, забезпечується шляхами, отже для оцінки структурної

живучості зв'язку необхідно визначити кількість незалежних для даного зв'язку шляхів. Будемо розглядати усі існуючі шляхи між парою вузлів як квазінезалежні – таке допущення природно при використанні комутації пакетів. Застосування всіх шляхів, що реалізують зв'язок $(s-t)$ рангу не більше R і розглядання їх як незалежних для даного зв'язку, дасть верхню межу структурної живучості зв'язку між вузлами $(s-t)$. Застосування всіх шляхів рангу не більше R для всіх пар вузлів мережі, що тяжіють, дасть у підсумку загальну верхню межу структурної живучості – $P_{ВМСЖ}$ – мережі.

Застосування всіх розрізів, що розділяють використовувані шляхи для кожної пари вузлів $(s-t)$, дасть нижню межу структурної живучості зв'язку між вузлами $(s-t)$. Застосування всіх розрізів для всіх пар вузлів мережі, що тяжіють, дасть у підсумку загальну нижню межу структурної живучості – $P_{НМСЖ}$ – мережі. Отримані загальні оцінки $P_{ВМСЖ}$ і $P_{НМСЖ}$ надають можливість отримати оцінку структурної живучості мережі невизначеної топології.

Запропонований метод оцінки структурної живучості мережі невизначеної топології заснований на визначенні числа шляхів (і поділяючих їх розрізів), які можуть бути використані для обслуговування заявок, що надходять у мережу, що уможливує отримати загальні оцінки $P_{ВМСЖ}$ і $P_{НМСЖ}$ і на їхній основі одержати результуючу оцінку структурної живучості усієї мережі – $P_{ПСЖ}$.

Ідея методу заснована на результатах роботи [5], у якій виконана оцінка числа шляхів у мережі з деяким числом пунктів n і деяким числом гілок L , а саме: число шляхів рангу r визначається за виразом (1):

$$M_{r,L} = \frac{n(n-1)}{2} C_{n-2}^{r-1} \left(1 - \frac{2m_{r,L_{\max}}}{n(n-1)A_{n-2}^{r-1}} \right)^l, \quad (1)$$

де $L_{\max} = n(n-1)$ – кількість гілок у повноз'язній мережі; $l = L_{\max} - L$.

З виразу (1) можна отримати кількість шляхів рангу r , що припадають на один зв'язок $(s-t)$, в мережі з n вузлами та L гілками:

$$m_{(st)r,L} = \frac{M_{r,L}}{g} = \frac{M_{r,L}}{n(n-1)}, \quad (2)$$

де g – загальне число пар вузлів, що тяжіють.

Слід зазначити, що в мережах невизначеної топології оцінка (2), безумовно, є орієнтовною, оскільки такі мережі не являються регулярними структурами. Проте, на основі виразу (2) визначається загальна кількість шляхів, які можуть використовуватися для одного зв'язку $(s-t)$, а саме – кількість припустимих шляхів відповідних рангів r , загальна кількість яких не повинна перевищувати заданого значення M , обумовленого відповідно до прийнятих правил маршрутизації.

Визначення кількості шляхів відповідних рангів r , які можуть використовуватися для одного зв'язку $(s-t)$, може бути здійснено в такий спосіб.

У повноз'язній мережі відома загальна кількість шляхів усіх рангів – від 1 до R для одного зв'язку $(s-t)$ – $m_{1...Rst}$, а також число шляхів деякого рангу r між вузлами m_{rst} [5].

Знаючи загальну кількість шляхів $m_{1...Rst}$ і число шляхів деякого рангу r між вузлами $(s-t)$ m_{rst} , можна визначити частку шляхів кожного рангу r в загальній кількості шляхів всіх рангів для зв'язку $(s-t)$ – X_{rst} (3):

$$X_{rst} = \frac{m_{rst}}{m_{1...Rst}} = \frac{A_{n-2}^{r-1}}{\sum_{r=1}^R A_{n-2}^{r-1}},$$

$$(3) X_{ij} = \frac{m_{rst}}{m_{1...Rst}} = \frac{A_{n-2}^{r-1}}{\sum_{r=1}^R A_{n-2}^{r-1}}$$

($s, t = \overline{1, n}$, n – число вузлів мережі)

У випадку, якщо мережа є повноз'язною і її структура відома та не змінюється, можна вважати, що частка шляхів кожного рангу для окремої пари вузлів $(s-t)$ буде такою ж й для інших пар, тобто часткове співвідношення кількості шляхів певних рангів зберігається для всіх пар. Якщо мережа стає неповноз'язною, однак зі зміною кількості гілок пропорційно змінюються й ступені вузлів мережі, то часткове співвідношення (3) у такій мережі дає можливість визначення числа шляхів відповідних рангів для зв'язків $(s-t)$ ($s, t = \overline{1, n}$, n – кількість вузлів мережі).

У випадку зміни структури мережі – збільшенні або зменшенні числа вузлів, видаленні окремих гілок, коли ступені вузлів мережі змінюються непропорційно, змінюється й часткове співвідношення числа шляхів різного рангу для різних зв'язків $(s-t)$. У таких ситуаціях оцінка числа шляхів кожного рангу при різних значеннях n і L може бути отримана на основі моделювання структури мережі.

Таким чином, частка шляхів кожного рангу може бути обчислена на основі виразу (3), якщо часткове співвідношення шляхів кожного рангу зберігається, або може бути визначена на основі імітаційного моделювання.

Отже, на основі виразів (2) і (3) для зв'язку (s-t) визначається загальне число шляхів, ранг яких не перевищує заданого припустимого значення R_{max} (звичайно $R_{max} \leq 4$) формується множина припустимих шляхів – M_{st} , (число шляхів у якому (ЧШ) визначається заданим значенням M : ЧШ $\leq M$). Зазначена множина M_{st} використовується для розрахунку для зв'язку (s-t) верхньої межі структурної живучості $P_{BMCЖst}$ мережі з невизначеною топологією як імовірність неураження хоча б одного шляху μ_{st}^k множини шляхів M_{st} обслуговування заявки (4):

$$P_{BMCЖst} = 1 - \prod_{\mu_{st}^k \in M_{st}} (1 - \prod_{a_i \in \mu_{st}^k} p_i), \tag{4}$$

де a_i – ділянка шляху μ_{st}^k ; ($k = \overline{1, M(\text{ЧШ})}$), $M(\text{ЧШ})$ – число шляхів множини M_{st}).

p_i – імовірність неураження ділянки a_i при НВ.

Відзначимо, що в отриманій множині шляхів M_{st} фіксується не послідовність ділянок a_i шляхів, а кількість ділянок кожного k-го шляху $\mu_{st}^k \in M_{st}$ з відповідними значеннями p_i – імовірностями неураження ділянок, які можуть визначатися, наприклад, на основі експертних оцінок, статистичних даних чи із застосуванням одного з чисельних методів (наприклад, методом Монте-Карло, методом Неймана тощо).

Запропоновано шляхи множини M_{st} представляти в диз'юнктивній нормальній формі (ДНФ), де кожному терму відповідає шлях, а ранг терму визначається рангом шляху. Таким чином, у випадку, коли множина шляхів M_{st} зв'язку (s-t) включає, наприклад, один шлях рангу 1, два шляхи рангу 2 і два шляхи рангу 3, ДНФ має такий вигляд (5):

$$M_{st} = a_1 \vee a_2 a_3 \vee a_4 a_5 \vee a_6 a_7 a_8 \vee a_9 a_{10} a_{11}. \tag{5}$$

Тут a_i позначає ділянку шляху.

Як видно, шлях першого рангу складається з однієї ділянки a_1 і йому відповідає терм, ранг котрого дорівнює «1». Є два шляхи другого рангу – $a_2 a_3$ і $a_4 a_5$, кожний з яких включає дві ділянки – a_2 і a_3 , а також a_4 і a_5 , відповідно, і їм відповідають терми, ранг яких дорівнює «2» і т.д.

Відзначимо, що всі шляхи множини M_{st} (5) позначені як незалежні, а саме – кожна ділянка a_i (гілка) належить єдиному шляху. Саме ця обставина й уможливило одержання верхньої межі структурної живучості мережі. У реальних мережах шляхи можуть бути пересічними, тобто деяка ділянка a_i може належати більш ніж одному шляху, однак при розрахунку $P_{BMCЖ}$ приймається умова, що всі шляхи кожної множини M_{st} ($s, t = \overline{1, n}$, n – число вузлів мережі) є незалежними.

На основі отриманої множини шляхів M_{st} формується множина поділяючих їх розрізів σ_{st} . Запропоновано розрізи множини σ_{st} представляти в ДНФ, де кожному терму відповідає розріз, а ранг терму визначається рангом розрізу.

Для формування множини σ_{st} у ДНФ необхідно одержати двоїсту булеву функцію множини M_{st} – замінити в M_{st} всі операції диз'юнкції на операції кон'юнкції, а операції кон'юнкції на операції диз'юнкції. У результаті формується кон'юнктивна нормальна форма (КНФ). Після перетворення КНФ (розкриття дужок на основі законів алгебри логіки) одержуємо множину σ_{st} у ДНФ.

Отримана множина σ_{st} використовується для розрахунку для зв'язку (s-t) нижньої межі структурної живучості $P_{HMCЖst}$, що визначається як імовірність неураження множини розрізів δ_{st} , що розділяють множину шляхів M_{st} обслуговування заявки (6):

$$P_{HMCЖst} = \prod_{\delta_{st}^y \in \sigma_{st}} (1 - \prod_{a_i \in \delta_{st}^y} (1 - p_i)), \tag{6}$$

де a_i – ділянка розрізу δ_{st}^y ($y = \overline{1, Y}$, Y – число розрізів, що розділяють множину шляхів M_{st}).

Відзначимо, що як і у випадку множини шляхів M_{st} , для кожного y-го розрізу $\delta_{st}^y \in \sigma_{st}$ фіксується кількість ділянок a_i , що становлять розріз, з відповідними значеннями p_i – імовірностями неураження ділянок розрізу.

На основі отриманих значень $P_{BMCЖst}$ і $P_{HMCЖst}$ визначається показник структурної живучості зв'язку (s-t) – $P_{ПСЖst}$ як середньозважена величина (7):

$$P_{ПСЖst} = P_{BMCЖst} W_{BMCЖ} + P_{HMCЖst} W_{HMCЖ}, \tag{7}$$

де $W_{BMCЖ}$ й $W_{HMCЖ}$ – вагові коефіцієнти, що визначають важливість, значимість для визначення $P_{ПСЖst}$ показників $P_{BMCЖst}$ і $P_{HMCЖst}$, відповідно. Ці коефіцієнти доцільно визначати на основі експертних оцінок за умови (8):

$$w_{ВМСЖ} + w_{НМСЖ} = 1. \quad (8)$$

Якщо умова (8) не дотримується, то розрахунок показника структурної живучості $P_{ПСЖst}$ зв'язку (s-t) здійснюється за виразом (9):

$$P_{ПСЖst} = \frac{P_{ВМСЖst} w_{ВМСЖ} + P_{НМСЖst} w_{НМСЖ}}{w_{ВМСЖ} + w_{НМСЖ}} \quad (9)$$

Тут $w_{ВМСЖ}$ і $w_{НМСЖ}$ – вагові коефіцієнти, які задаються в бальній системі оцінок (наприклад, 10-і або 100-бальній).

Відзначимо, що для всіх зв'язків (s-t) ($s, t = \overline{1, n}$, n – число вузлів мережі) значення $w_{ВМСЖ}$ й $w_{НМСЖ}$ однакові, оскільки ці значення визначають значимість верхньої та нижньої меж структурної живучості, а не значущість зв'язків (s-t).

Процедура визначення верхньої $P_{ВМСЖst}$ (4) та нижньої $P_{НМСЖst}$ (6) меж структурної живучості й на їхній основі – визначення показника структурної живучості $P_{ПСЖst}$ ((7) або (9)) здійснюється для всіх зв'язків (s-t).

Отримані значення $P_{ПСЖst}$ надають можливість визначення показника структурної живучості мережі з невизначеною топологією $P_{ПСЖ}$ як середньозважене значення показників $P_{ПСЖst}$ ($s, t = \overline{1, n}$, n – число вузлів мережі) відповідно до виразу (10):

$$P_{ПСЖ} = \frac{\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n P_{ПСЖst} w_{st}}{\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n w_{st}} \quad (10)$$

Тут w_{st} – вагові коефіцієнти, що визначають важливість, значимість для визначення $P_{ПСЖ}$ показників $P_{ПСЖst}$, тобто важливість, значимість зв'язків (s-t). Визначення цих коефіцієнтів може бути здійснено на основі експертного аналізу чи статистичних даних.

Отримане значення $P_{ПСЖ}$ повинне задовольняти необхідному значенню показника структурної живучості мережі – $P_{ПСЖ(нз)}$. У випадку, якщо отримане значення $P_{ПСЖ}$ не задовольняє необхідному $P_{ПСЖ(нз)}$, виконується процедура забезпечення необхідного значення $P_{ПСЖ(нз)}$ на основі введення структурної надмірності, оскільки властивістю живучості володіють тільки надлишкові системи.

Забезпечення структурної живучості мережі невизначеної топології здійснюється в такий спосіб.

Отримане на основі виразу (10) значення показника структурної живучості мережі $P_{ПСЖ}$ порівнюється з необхідним значенням $P_{ПСЖ(нз)}$:

$$P_{ПСЖ} \geq P_{ПСЖ(нз)}. \quad (11)$$

Якщо умова (11) виконується, це означає, що необхідне значення показника структурної живучості $P_{ПСЖ(нз)}$ досягнуто. При невиконанні умови (11) – перехід до процедури забезпечення необхідного значення структурної живучості $P_{ПСЖ(нз)}$.

У даній роботі завдання забезпечення структурної живучості мережі невизначеної топології формулюється як задача лінійного програмування, у результаті рішення якої формується оптимальна структура резерву ділянок шляхів (розрізів), а саме:

Мінімізувати значення цільової функції (12) при виконанні обмеження (11):

$$C_{СИС} = \sum_{i=1}^l c_i m_i \rightarrow \min, \quad (12)$$

де $C_{СИС}$ – вартість системи резервних елементів;

i – номер ділянки в системі;

l – кількість ділянок у системі (число гілок мережі);

c_i – вартість i -ї резервної ділянки системи;

m_i – кратність резервування i -ї ділянки системи.

Відзначимо, що в оптимізаційному процесі резервування беруть участь усі гілки a_i (ділянки шляхів або розрізів). У випадку, коли відсутня необхідність у резервуванні i -ї ділянки, значення кратності резервування такої ділянки $m_i = 0$.

Рішення наведеної оптимізаційної задачі зводиться до наступного: знайти вектор оптимальної структури резерву $M(m_1, m_2, \dots, m_l)$, що забезпечує мінімум функції (12) при обмеженні (11).

Для вирішення задачі оптимального резервування найбільш ефективно застосування градієнтного методу. Зручність цього методу полягає в тому, що для рішення не потрібно знати аналітичного вираження досліджуваної функції, а потрібно лише мати значення функції і її перших часткових похідних у точках, у які ми попадаємо в процесі руху до екстремуму функції.

Ефективність резервування кожної i -ї ділянки оцінюється на основі виразу (13) при збільшенні

кратності її резервування на одиницю [6]:

$$\gamma(m_i + 1) = \frac{p_i(m_i + 1) - p_i m_i}{c_i \cdot p_i(m_i)}, \quad (13)$$

де $p_i(m_i + 1)$, $p_i(m_i)$ – значення показника імовірності неураження i -ої ділянки при кратності резервування $(m_i + 1)$ та m_i , відповідно.

Створення оптимальної резервної системи представимо у вигляді наступного багатокрокового процесу. Розглядається система, що складається з l ділянок, при тому, що на початковому етапі процесу допускається, що жодна з ділянок не має резервних елементів. На першому кроці процесу відшукується така ділянка, додавання до якої одного резервного елемента дає найбільший «питомий» виграш у приросту показника структурної живучості $P_{ПСЖ}$ системи, тобто найбільший приріст на одиницю вартості. На другому кроці визначається наступна ділянка (включаючи і ту, до якої тільки що був приєднаний резервний елемент), додавання до якої одного резервного елемента дає знову найбільше відносно збільшення показника структурної живучості системи. Аналогічним способом процес побудови оптимальної системи триває далі.

Враховуючи вплив процесу резервування на зміну значень $P_{ВМСЖst}$ і $P_{НМСЖst}$, а також $P_{ПСЖst}$ для кожного зв'язку $(s-t)$, $(s, t = \overline{1, n})$, n – кількість вузлів мережі), отже і на зміну значення $P_{ПСЖ}$, запропонована наступна послідовність розрахунків.

Відповідно до виразу (13) при збільшенні на одиницю кратності резервування кожної i -ої ділянки визначаються $\gamma_{ВМСЖ}(m_i + 1)$ – для множин шляхів M_{st} усіх зв'язків $(s-t)$, а також $\gamma_{НМСЖ}(m_i + 1)$ – для множин відповідних розрізів σ_{st} ($s, t = \overline{1, n}$, n – кількість вузлів мережі). В результаті для кожної i -ої ділянки формується середньозважене значення $\gamma_{срзв}$ (14), максимальне значення якого серед усіх отриманих середньозважених величин для всіх ділянок визначає номер ділянки для збільшення на одиницю її резерву на цьому етапі:

$$\gamma_{срзв} = \frac{w_{ВМСЖ} \gamma_{ВМСЖ} + w_{НМСЖ} \gamma_{НМСЖ}}{2}, \quad (14)$$

де $\gamma_{ВМСЖ}$ і $\gamma_{НМСЖ}$ – значення показників, отриманих за формулою (13) при розрахунках нижньої і верхньої меж структурної живучості.

Після цих дій за виразом (10) виконується розрахунок $P_{ПСЖ}$ і визначається виконання умови (11). Якщо умова (11) виконується, процес завершується, у протилежному випадку виконується наступний етап резервування. На кожному наступному етапі процесу резервування виконуються такі ж самі дії: знаходиться ділянка (включаючи і ту, до якої на попередньому етапі був приєднаний резервний елемент), додавання до якої одного резервного елемента дає знову найбільше відносно збільшення показника структурної живучості системи $P_{ПСЖ}$ в цілому.

Система оптимального резервування будується доти, поки не буде досягнуто виконання умови (11).

Подальшим розвитком роботи є вирішення питань визначення імовірності неураження p_i ділянок a_i мережі, значень $w_{ВМСЖ}$ і $w_{НМСЖ}$ (вагових коефіцієнтів, що визначають вагомість, значущість верхньої $P_{ВМСЖst}$ та нижньої $P_{НМСЖst}$ меж структурної живучості), а також значень w_{st} – вагових коефіцієнтів, що визначають важливість, значимість для визначення $P_{ПСЖ}$ показників $P_{ПСЖst}$, що надасть можливість більш точного оцінювання структурної живучості мереж невизначеної топології. Також планується формування підходів до встановлення найбільш шкідливих втручань, які із найбільшою імовірністю можуть задіяти шкоду структурній живучості мережі у вигляді неконтрольованого наповнення різноманітною інформацією [7], або несанкціонованого доступу до об'єкта з подальшою зміною його внутрішніх параметрів.

Висновок. У даній роботі обгрунтовано необхідність оцінки та забезпечення структурної живучості ТКМ в умовах ускладнення як структури мережі, так і зростання кількості та різноманітності проявів несанкціонованого доступу та кіберзагроз, а також неконтрольованого невідфільтрованого потоку даних, таким чином все більшої актуальності набуває необхідність розробки теоретичних основ оцінки та формування підходів щодо удосконаленого забезпечення живучості ТКМ.

Запропоновано спосіб оцінки та забезпечення структурної живучості мереж з невизначеною топологією на основі показника $P_{ПСЖ}$, який визначається з використанням нижньої і верхньої меж структурної живучості.

Надано вирази для визначення числа шляхів різних рангів, які можуть бути використані для обслуговування заявок, що надходять в мережу невизначеної топології, а також спосіб отримання множини розрізів, які поділяють шляхи. Представлені вирази, що дозволяють визначити верхню і нижню межі структурної живучості для кожного зв'язку і мережі в цілому. Представлено формулювання задачі забезпечення необхідного рівня структурної живучості як задачі лінійного програмування, в результаті вирішення якої формується оптимальна структура резерву ділянок шляхів (розрізів), з урахуванням якої і формується оцінка структурної живучості мережі з невизначеною топологією.

Література

1. Стекольников Ю.И. Живучесть систем – СПб.: Политехника, 2002. – 155 с.
2. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова. – М. : «Изд-во Машиностроение-1», 2007. – 152 с.
3. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем // А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
4. Князева Н.А. Метод обеспечения структурной живучести телекоммуникационной сети // Н.А. Князева: – International Journal Information technologies and knowledge, V8, №2, 2014. – С. 152-165.
5. Князева Н.А. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры // Н.А. Князева, А.Л. Ненов // К.: Вісник ДУІКТ, Т. 9, №4, 2011. – С. 318-325.
6. Князева Н.О. Повышение структурной живучести телекоммуникационной сети / Н.А. Князева //, International Journal Information models and analyses, 2013.– V2, №3. – P. 275-284.
7. Князев О.А. Метод адаптивной оценки URI в комплексных системах фильтрации контента / В.А. Каптур, О.А. Князев // Наукові праці ОНАЗ. – Одеса, 2016. – № 1. – С. 35-45.

References

1. Stekolnikov U. The system survivability. - St. Petersburg: Polytechnics, 2002. – 155 p.
2. Synthesis and analysis of survivability of network systems: a monograph / U. Gromov, V. Drachev, K. Nabatov, O. Ivanova. – Moscow: Publishing House "Mashinostroenie", 2007. - 152 p.
3. Dodonov. A. Information Systems Vitality // A. Dodonov, D. Lande. – Kiev: Naukova dumka, 2011. – 256 p.
4. Kniazieva N. The method of the ensurance of structural survivability of telecommunication network / N. Kniazieva // International Journal Information technologies and knowledge, V8, №2, 2014. – P. 152-165.
5. Kniazieva N. Method of assessing the structural reliability of the network when its structure changes // N. Kniazieva, A. Nenov. – Kiev: Visnyk Derzhavnoho universytetu informatsiyno-komunikatsiynykh tekhnolohiy. – SUIKT. - T. 9, № 4, 2011. – P. 318-325.
6. Kniazieva N. Improving the structural vitality of the telecommunications network / N. Kniazieva // International Journal "Information Models and Analyses" Vol.2 / 2013, Number 3. – P. 275-284.
7. Kniaziev A. Adaptive URI Evaluation Method in Complex Content Filtering Systems / A. Kniaziev, V. Captur // Proceedings of the O. S. Popov ONAT, 2016. - № 1. - P. 35-45.

Рецензія/Peer review : 22.1.2019 р.

Надрукована/Printed : 18.2.2019 р.

Рецензент: