

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

У «глобальному суспільстві ризику» виникають нові вимоги до безпеки технічних систем, які включені у ланцюги життєзабезпечення, пов'язані безпосередньо з повсякденною діяльністю людей. Уже на початковому етапі розробки та впровадження цих систем потрібно якомога правильніше визначитися з цілями й необхідним рівнем безпеки, спрогнозувати можливі втрати у разі виникнення нештатних ситуацій, мати можливість попереджувати розвиток небезпечних станів системи, спланувати способи відновлення функціонування або «безпечну зупинку».

Ключові слова: живучість комп'ютерних мереж; інформаційно-комунікаційна мережа; показники живучості; критерії оцінки системи.

Вступ

Сучасне ділове середовище важко уявити без створення та розвитку складних технічних і соціотехнічних систем регіонального чи глобального масштабів, для яких характерні розвинуті засоби комунікації, насиченість засобами автоматизації, складна структура ресурсозабезпечення, використання різноманітних інформаційних технологій тощо. Мобільність ділового середовища вимагає зростання чутливості систем до змін, що відбуваються в ньому, до різного роду зовнішніх і внутрішніх впливів, і в той же час вимоги безпеки потребують якомога меншої уразливості систем від впливів стихійного або цілеспрямованого характеру, забезпечення стійкості системи та її сталого функціонування. Визначається певне протиріччя у вимогах, що потребує розв'язання.

У загальному випадку при проектуванні складних технічних систем виникає не зовсім чітко сформульоване теоретично і, на перший погляд, не вирішуване практично завдання створення надійної, стабільно функціонуючої системи з ненадійних складових. Та пам'ятаючи, що властивості складної системи як цілого не є сумою властивостей її складових, що можливе виникнення нових інтегрованих властивостей, застосовуючи спеціальні проектні підходи, відповідні методики та архітектурні рішення досить успішно вже сьогодні можна вирішувати зазначені проблеми.

Основна частина

Сучасні дослідження з теорії живучості складних технічних систем спрямовані саме на розвиток методологічних основ організації систем із підвищеним рівнем живучості та безпеки упродовж всього життєвого циклу; на вивчення закономірностей збереження системою певної якості при ушкодженні її елементів і способах забезпечення живучості, використання механізмів її підтримки.

У теорії живучості термін «якість системи» розуміється як властивість здатності досягати цілі функціонування (реалізовувати визначену функцію). Аналогічно у теорії надійності якість системи розуміється лише у властивості гарантувати працездатний стан чи ні.

Ушкодження компонентів — це подія, що призводить до порушення функціонування системи або її складових внаслідок зовнішніх чи внутрішніх впливів. Важлива не природа впливів, а їхні наслідки для системи. Ушкодження можуть бути суттєвими або несуттєвими. Суттєві ушкодження найчастіше призводять до зміни цілі функціонування системи (звужується множина функцій, які виконуються системою), несуттєві — не призводять до зміни цілі.

Живучість — властивість, що характеризує, зокрема, і здатність системи ефективно функціонувати за наявності ушкоджень (руйнацій складових) або відновлювати цю здатність за визначений проміжок часу.

Живучість є комплексною властивістю систем. Показники живучості мають відповідати вимогам системного рівня досліджень і в той же час вони мають забезпечити можливість

розробки достатньо простих моделей для практичних робочих досліджень та виконання розрахунків. З поняттям живучості тісно пов'язані також такі властивості системи як адаптивність та стійкість. Адаптивність — це здатність системи змінюватися при зміні умов функціонування заради збереження своїх експлуатаційних показників у визначених межах. Стійкість — властивість системи при незначних змінах умов функціонування зберігати свої експлуатаційні показники.

Для технічних систем зі складною архітектурою, з великою кількістю гетерогенних компонентів оцінити живучість є складним завданням, навіть якщо відомі необхідні метрики для всіх складових системи, проте існує нагальна потреба у простих і достатньо ефективних для практики методиках адекватної достовірної оцінки основних характеристик живучості. Зрозуміло, що при дослідженні живучості та побудові оцінок необхідно провести аналіз інтегральних багатофакторних (багатокритеріальних) показників, які враховують як кількісні, так і якісні характеристики [1].

Сучасні дослідження живучості складних технічних систем спираються на принципи системного аналізу, що забезпечує формування цілісного системного погляду на об'єкт аналізу і дозволяє врахувати наступні особливості, які, згідно із загальною теорією систем, притаманні складним системам:

- вкладеність — значна кількість зв'язаних і взаємодіючих між собою складових системи, які в свою чергу складаються з великої кількості зв'язаних і взаємодіючих між собою складових (елементів, підсистем, компонентів) і т.д.;
- наявність загальносистемної цілі функціонування, яка домінує над цілями функціонування будь-яких складових системи;
- непередбачуваність, що виявляється у поведінці складної системи, яка є результатом взаємодії і взаємовідношень між її компонентами;
- відсутність повної інформації про систему в цілому у будь-якого з компонентів складної системи, оскільки зв'язки між компонентами досить короткі, інформацію елемент системи отримує від найближчих сусідів, а при передачі на відносно великі відстані (при передачі інформації через певну кількість елементів) вона зазнає змін (а іноді взагалі втрачається);
- нелінійність відношень між компонентами, внаслідок чого незначний збурюючий вплив може викликати помітний ефект, і навпаки, значний впливаючий імпульс може бути не результативним;
- наявність зворотних зв'язків як позитивних, так і негативних, що визначають функціонування системи;
- відкритість (межі системи залежно від її природи мають бути проникні або для інформації, або для енергії, через що система постійно змінюється, але засобами управління утримується в стабільному стані);
- наявність історії, причому незначні зміни в теперішньому можуть призвести до значних змін у майбутньому;
- активна взаємодія із зовнішнім середовищем в умовах невизначеності факторів впливу на складові системи і мінливості стану зовнішнього і внутрішнього середовищ.

Живучість зазвичай виявляється в разі накопичення в системі критичної кількості відмов, коли повернення до стандартного режиму функціонування через зміну внутрішнього стану та зовнішнього середовища малоімовірно. Наявність живучості забезпечує динамічну функціональну відповідність системи змінним умовам експлуатації на досить тривалому проміжку часу. Більш живучою можна вважати технічну систему, яка найбільш відповідатиме задекларованим цілям свого функціонування в умовах поступового накопичення відмов, погіршення умов експлуатації і наявності небажаних впливів. Якщо існує декілька альтернативних варіантів за зазначеним вище критерієм, серед них більш живучою може вважатися система, що спроможна витримати на заданому інтервалі часу більшу кількість

відмов або спроможна функціонувати з якістю не нижче визначеної впродовж більш тривалого часу і в найнесприятливіших умовах.

Комплексний характер проблеми аналізу та оцінки живучості робить неможливим рішення цієї проблеми на основі будь-кого одного параметра, необхідним стає розгляд інтегральних багатофакторних (багатокритеріальних) показників. Бажано, передбачаючи можливість використання властивості живучості, ще на початковому етапі розробки системи визначитися з критеріями оцінки системних якостей. Критерії повинні враховувати певні принципи, що характеризують різні конструктивно-технологічні аспекти, фактори й механізми забезпечення та підтримки живучості. Наприклад, для складних комп'ютерних систем можна визначити наступні критерії:

- критерії відповідності системи заданим показникам якості функціонування і/або оцінки ступеню її функціональної деградації;
- критерії оцінки ефективності динамічної реконфігурації і перерозподілу ресурсів;
- критерії оцінки ступеню відновлення системи після збоїв і відмов завдяки механізмам реорганізації чи реконструкції;
- критерії, які характеризують зміни продуктивності, реактивності, чутливості системи в умовах деградації системних ресурсів;
- критерії оцінки адаптивності системи до зовнішніх і внутрішніх змін;
- критерії економічної ефективності використання наявних ресурсів.

Аналізуючи живучість технічної системи, яка знаходиться у постійно змінному зовнішньому середовищі і досить часто зазнає модернізації для покращення показників якості її функціонування, можна отримати найбільш об'єктивний і адекватний показник, оскільки саме при дослідженні живучості з'ясовується здатність системи виконувати свої функції впродовж довготривалого періоду, а не можливість продовження функціонування по відновленню після окремих збоїв чи відмов (показники надійності та відмовостійкості). [2]

В даний час в різних роботах запропоновано багато різних показників живучості. Серед них є і імовірнісні, і детерміновані. З метою систематизації проведемо їх класифікацію за двома ознаками. За першою ознакою розділимо всі показники на дві групи: показники, використовувані для оцінки живучості але станом системи і за результатами виконання завдання. Показники першої групи оцінюють властивість системи зберігати працездатність після несприятливих впливів (НВ). Показники другої групи оцінюють здатність не тільки протистояти НВ, але й надалі, незважаючи на НВ, успішно виконати встановлене завдання. За другою ознакою показники поділяються на адитивні і мінімаксні. Вони відрізняються один від одного за способом відомості векторного показника до скалярного. До числа адитивних відносяться і імовірнісні показники, засновані на формулі повної ймовірності. [3]

У цій статті запропонований ефективний обчислювальний алгоритм, який на основі використання процедури двійкового кодування розрізів дає змогу сформулювати не тільки матрицю максимальних міжполюсних потоків V , але також і матрицю CS кодів розрізів, кожен елемент якої cs_{st} представляє двійковий код мінімального розрізу, що визначає величину максимального потоку \mathcal{G}_{st} –відповідного елемента матриці V . Будь-який розріз в орієнтованому графі представляється n -розрядним двійковим кодом, у неорієнтованому – $(n - 1)$ –розрядним двійковим кодом. Оскільки коди, що містять всі нулі або всі одиниці, не є розрізами, в орієнтованому графі може бути $(2^n - 2)$ розрізів, у неорієнтованому – $(2^{n-1} - 1)$ розрізів (n – кількість вершин графа).

Дві підмножини вершин графа, утворених розрізом, інтерпретуються як підмножини джерел (s) і стоків (t). Першій з підмножин ставляться у відповідність одиничні символи в коді розрізу, другій – нульові (можна прийняти і навпаки). Перелік ребер, що входять у будь-який розріз, одержують з матриці пропускних здатностей ребер (ліній мережі) C і коду цього розрізу. Очевидно, якщо рядкам матриці C надати змісту джерел, а стовпцям – зміст стоків, то в розріз, що заданий деяким двійковим кодом, входять ребра, що визначаються елементами матриці, розміщеними на перетинаннях рядків і стовпців, відповідних цьому коду. А саме –

номери рядків визначаються за номерами двійкових розрядів коду розрізу, у яких записана "1", а номери стовпців визначаються за номерами двійкових розрядів коду розрізу, у яких записаний "0".

Розрізу, що розділяє, наприклад, вершини 1, 2, 5 і 3, 4, відповідають рядки 1, 2, 5 і стовпці 3 і 4 матриці C , на перетинанні яких розташовані елементи $c_{13}, c_{14}, c_{23}, c_{24}, c_{53}, c_{54}$, що визначають набір ребер, які входять у зазначений розріз. Якщо $c(x, y) > 0$, це означає, що ребро (x, y) існує й входить в розріз; якщо ж $c(x, y) = 0$, це означає, що ребро (x, y) відсутнє, тобто не може входити в розріз.

Обчислення значення пропускну́ї здатності розрізу зводиться до підсумовування значень $c(x, y)$ ребер, що входять у розріз. Розглянемо як приклад орієнтований граф, зображений на Рис. 1, матриця пропускну́ї здатностей ребер графа подана в матриці C .

У наведеному прикладі величина пропускну́ї здатності розрізу S , що розділяє вершини 1, 2, 5 від вершин 3, 4, становить:

$$C(S) = c_{13} + c_{14} + c_{23} + c_{24} + c_{53} + c_{54} = 0 + 0 + 9 + 0 + 0 + 7 = 16 \text{ од.}$$

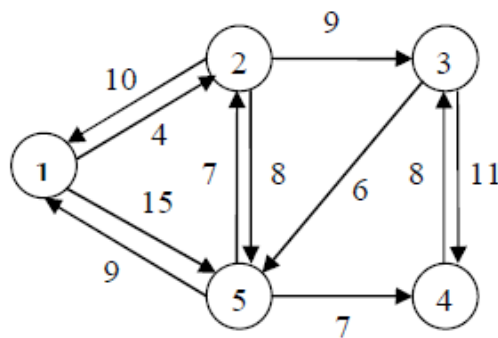


Рис. 1. Орієнтований граф

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 4 & 0 & 0 & 9 \\ 10 & \infty & 9 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & \infty & 11 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & \infty & 0 \\ 15 & 7 & 0 & 7 & \infty \end{bmatrix}$$

Розглянутий алгоритм дає змогу одночасно з обчисленням величин усіх розрізів визначити максимальні потоки між всіма парами вершин графа. Алгоритм ґрунтується на тому, що індекси всіх елементів матриці $c(x, y)$, розміщені на перетинаннях рядків і стовпців, відповідних коду розрізу, збігаються не тільки з індексами всіх ребер (x, y) , що входять у розріз, але й з індексами всіх міжполюсних потоків cs_{st} , що поділяються цим розрізом.

Розглянуто суть алгоритму:

У процесі роботи алгоритму формується матриця V міжполюсних максимальних потоків. Приймають, що вихідні значення елементів матриці V дорівнюють " ∞ ". Утворюється двійковий код розрізу $KR(S)$ і обчислюється пропуску́на здатність $C(S)$ (величина) чергового розрізу S як сума пропускну́ї здатностей ребер, розміщених на перетинаннях рядків і стовпців, відповідних коду розрізу. Величина кожного потоку cs_{st} , поділюваного цим розрізом, порівнюється з обчисленою пропуску́ною здатністю розрізу й замінюється останньою за умови

$$C(S) < \mathcal{G}_{st}, \quad (1)$$

де \mathcal{G}_{st} – величина потоку, яка була визначена на попередніх кроках алгоритму (відповідно до попередніх розрізів). Крім того, якщо нерівність (1) виконується, елементу c_{st} матриці CS присвоюється значення відповідного коду розрізу, а саме: $c_{st} = KR(S)$.

Процес обчислень повторюється для всіх розрізів.

У результаті роботи алгоритму формується матриця V , кожний елемент якої \mathcal{G}_{st} визначає величину максимального потоку між вершинами s і t , а також матриця CS кодів розрізів, кожний елемент якої \mathcal{G}_{st} визначає двійковий код мінімального розрізу $KR(S)$ щодо максимального потоку \mathcal{G}_{st} .

Для графа, що наведений на рис.1, матриця максимальних міжполюсних потоків і матриця кодів мінімальних розрізів подані в матрицях V і CS , відповідно.

$$V = \begin{bmatrix} \infty & 11 & 13 & 13 & 13 \\ 24 & \infty & 16 & 16 & 23 \\ 6 & 6 & \infty & 17 & 6 \\ 6 & 6 & 8 & \infty & 6 \\ 22 & 11 & 16 & 16 & \infty \end{bmatrix} \quad CS = \begin{bmatrix} - & 11101 & 00001 & 00001 & 00001 \\ 01110 & - & 10011 & 10011 & 01111 \\ 01100 & 01100 & - & 00100 & 01100 \\ 01100 & 01100 & 01000 & - & 01100 \\ 11100 & 11101 & 10011 & 10011 & - \end{bmatrix}$$

Так, наприклад, максимальний потік $\mathcal{G}_{42} = 6$ од од., код відповідного мінімального розрізу – 01100. Розріз утворюють ребра (3, 1), (3, 2), (3, 5), (4, 1), (4, 2), (4, 5) (в матриці CS нумерація розрядів коду і відповідно – номерів вершин графа – здійснена справа вліво). Величина розрізу 01100 становить:

$$C(01100) = c_{31} + c_{32} + c_{35} + c_{41} + c_{42} + c_{45} = 0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 0 = 6 \text{ од.}$$

Максимальний потік $\mathcal{G}_{54} = 16$ од., код відповідного мінімального розрізу – 10011. Розріз утворюють ребра (1, 3), (1, 4), (2, 3), (2, 4), (5, 3), (5, 4). Величина розрізу 10011 дорівнює:

$$C(10011) = c_{13} + c_{14} + c_{23} + c_{24} + c_{53} + c_{54} = 0 + 0 + 9 + 0 + 0 + 7 = 16 \text{ од.}$$

тощо.

Матриці V і CS містять усю необхідну інформацію, яка застосовуватиметься при ЗНВ. Розглянемо ситуацію – ЗНВ, у результаті якого деяка гілка мережі β_{pl} вийде з ладу. Застосування матриці CS дає можливість одержати необхідну інформацію щодо того, які максимальні потоки \mathcal{G}_{st} змінять свої величини у разі видалення гілки β_{pl} з мережі. Якщо номерів p у коді розрізу відповідає “1”, а номеру l відповідає “0”, у матриці CS здійснюється пошук кодів розрізів з відповідним станом розрядів коду: для p – “1”, для l – “0”. Знайдені елементи c_{st} матриці CS і визначають ті максимальні потоки \mathcal{G}_{st} , значення яких у результаті видалення гілки β_{pl} зменшаться на величину пропускну здатності цієї гілки c_{pl} .

Запропонований у цій статті метод підвищення живучості ТКМ оснований на визначенні допустимості зміни показників структурної живучості мережі в результаті ЗНВ, що виражається у видаленні деякої гілки β_{pl} з мережі й розв’язання задачі реконфігурації мережі як задачі лінійного програмування[4].

Як показник структурної живучості ТКМ використовується середня величина максимального потоку за всіма чинними вимогами на передачу інформації (потоків у мережі). Кожен потік належить відповідному класу k ($k=1, \overline{K}$, K – кількість класів потоків). Кожному класу присвоюють пріоритет відповідно до заданого показника якості обслуговування QoS потоків цього класу. Для кожного потоку (або для потоків відповідного класу) задається їх “вага”, яка визначає значущість потоку (або класу потоків). Задається допустима відносна

зміна показника структурної живучості для усієї мережі) $\Delta \bar{V}_{\max cp}^{\overline{ДОП}}$, яка визначається на основі допустимої зміни необхідної якості, а також допустима відносна зміна величини максимальних потоків для відповідних класів потоків – $\Delta_{st(k)}^{pr}$.

Метод полягає у виконанні таких дій:

1. визначення матриці максимальних міжполюсних потоків V і матриці CS кодів розрізів, кожен елемент яких \mathcal{G}_{st} і cs_{st} представляє величину максимального потоку і двійковий код мінімального розрізу, що поділяє, відповідно.

2. Визначення за матрицею CS , у які розрізи cs_{st} входить гілка β_{pi} і на яку величину змінилися відповідні максимальні потоки.

3. На основі урахування “ваги” потоків (або “ваги” класів потоків) – розрахунок середньозваженої величини максимального потоку в мережі до ЗНВ – $\bar{V}_{\max cp}$ і після ЗНВ – $\bar{V}_{\max cp}^{ЗНВ}$.

4. Визначення відносної зміни показника структурної живучості мережі

$$\Delta \bar{V}_{\max cp}^{ЗНВ} = \frac{\bar{V}_{\max cp} - \bar{V}_{\max cp}^{ЗНВ}}{\bar{V}_{\max cp}},$$

і порівняння отриманого значення із заданою допустимою зміною, визначеною на основі заданої якості обслуговування

$$\bar{V}_{\max cp}^{nprun} > \Delta \bar{V}_{\max cp}^{ЗНВ}. \quad (2)$$

5. Якщо не виконується умова (2), переходять до п. 6, інакше ніяких дій не починати – ЗНВ істотно не вплинуло на живучість мережі.

6. Визначення (у послідовності, що відповідає пріоритетам pr потоків) максимальних міжполюсних потоків, величини яких змінилися в результаті ЗНВ. Порівняння максимальної величини відносної зміни потоків (відповідно до пріоритетів) із заданою допустимою зміною для максимальних потоків відповідного класу (пріоритету) pr – $\Delta_{st(k)}^{pr}$

$$\max_{(S,t)} \Delta V_{St \max}^{ЗНВ} < \Delta_{St(k)}^{pr}. \quad (3)$$

7. Формування переліку вимог на реконфігурацію мережі на підставі переліку потоків, для яких умова (3) не виконується. Величина потоків \mathcal{G}_{st}^{TP} , які треба розподілити у реконфігурованій мережі, визначається як

$$\mathcal{G}_{st}^{TP} = \mathcal{G}_{st \max}^{ЗНВ} + \Delta_{st}^{pr},$$

де $\mathcal{G}_{st \max}^{ЗНВ}$ – величина потоку після ЗНВ, Δ_{st}^{pr} – те значення, що забезпечує необхідну величину \mathcal{G}_{st}^{TP} потоку відповідного класу (пріоритету) pr .

8. Побудова матриці допустимих шляхів для усіх потоків \mathcal{G}_{st}^{TP} . У виборі шляхів варто виходити з того, щоб гілки β_{ij} , що утворюють множину шляхів $m = [\mu_i]$ розподілення кожного потоку \mathcal{G}_{st}^{TP} визначеного класу (пріоритету), не включалися, за змогою, в шляхи розподілення більш пріоритетних потоків (у матриці допустимих шляхів для шляхів усіх потоків застосовується наскрізна нумерація, i – номер шляху).

9. Формулювання задачі реконфігурації мережі як задачі лінійного програмування.

Максимізувати зважену цільову функцію, що характеризує пропускну здатність мережі

$$F = \sum_{i=1}^I C_i f_i \rightarrow \max,$$

де i – номер шляху; I – кількість шляхів матриці допустимих шляхів для усіх потоків g_{st}^{TP} ;

C_i – пропускна здатність i -го шляху; f_i – вага i -го шляху, що визначається відповідно до його рангу r_i (ранг – кількість гілок, що утворюють шлях)

$$f_i = K \frac{r_{\max}}{r_i}, \quad (4)$$

де r_{\max} – максимальний ранг серед шляхів матриці допустимих шляхів, K – коефіцієнт, який задається так, щоб усі f_i були цілочисловими, при лінійних обмеженнях (4), (5), зв'язаних з величинами вимог на розподілення потоків і величинами пропускних здатностей гілок мережі, використовуваних у шляхах створеної матриці допустимих шляхів:

1) сумарна пропускна здатність c_{st}^v усіх шляхів, використовуваних для розподілення потоку g_{st}^{TP} , повинна, за можливості, дорівнювати величині цього потоку

$$\sum_{v=1}^{N(s,t)} C_{st}^v \leq g_{st}^{TP} (S, t = \overline{1, n}), \quad (5)$$

де $N(s, t)$ – кількість використовуваних шляхів μ_{st}^v для розподілення потоку g_{st}^{TP} ; C_{st}^v – пропускна здатність шляху μ_{st}^v .

2) Сумарна пропускна здатність шляхів усіх потоків, що проходять по гілці β_{xy} , не повинна перевищувати гранично допустимої пропускної здатності c_{xy} цієї гілки

$$\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n \sum_{v=1}^{N(s,t)} C_{st}^v \leq C_{xy} (x, y = \overline{1, n}, \mu_{st}^v \in \beta_{xy}). \quad (6)$$

10. Реконфігурація мережі – формування нової структури з урахуванням отриманих у результаті розв'язання задачі трас прямих каналів для розподілення потоків.

11. Для реконфігурованої мережі (ркфм) – розрахунок середньозваженої величини максимального потоку в мережі $\overline{V}_{\max \text{ cp}}^{\text{ркфм}}$.

12. Визначення відносної зміни показника структурної живучості реконфігурованої мережі

$$\Delta \overline{V}_{\max \text{ cp}}^{\text{ркфм}} = \frac{\overline{V}_{\max \text{ cp}} - \overline{V}_{\max \text{ cp}}^{\text{ркфм}}}{\overline{V}_{\max \text{ cp}}}.$$

13. Визначення показника живучості реконфігурованої мережі за умовою (6)

$$\overline{V}_{\max \text{ cp}}^{\text{ПРИП}} > \Delta \overline{V}_{\max \text{ cp}}^{\text{ркфм}}.$$

Якщо умова (6) виконується, то рішення про забезпечення необхідних показників живучості мережі отримано. У протилежному випадку можливі такі рекомендації:

– збільшення пропускних здатностей визначених гілок на обчислену в результаті розв'язання задачі величину;

– зміна пріоритетів визначених вимог;

– обмеження величини вимог, що надходять у мережу;

- зміна заданих гранично допустимих значень показників структурної живучості для мережі загалом;
- зміна заданих гранично допустимих значень показників якості обслуговування окремих потоків (класів потоків). [5]

Висновки

В статті розглянуто живучість інформаційних систем в цілому та стосовно комп'ютерних мереж. Визначені та розглянуті показники живучості. Запропонований ефективний обчислювальний алгоритм, який дозволяє обчислити значення пропускної здатності розрізу, визначити максимальні потоки між всіма клієнтами мережі. Розроблена методика підвищення живучості комп'ютерної мережі.

Література

1. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
2. Громов Ю.Ю., Драчев В.О., Набатов К.А., Иванова О.Г. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография. – М. : «Изд-во Машиностроение-1», 2007. – 152 с.
3. Додонов О.Г. Інформаційні потоки в глобальних комп'ютерних мережах - К.: Наук. думка, 2009. - 295 с.
4. Князева Н.А., Ненов А.Л. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры. – К.: Вісник ДУІКТ. Т.9, №4, 2011 р. – с. 318–325.
5. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч.2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних систем і мереж, Одеса: СПД, 2012. – 240 с.

Надійшла 20.07.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Чичикало Н. І.