

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-7>

УДК 681.324

БАРАБАШ Олег

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>

bar64@ukr.net

МУСІЄНКО Андрій

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

mysienkoandrey@gmail.com

МАКАРЧУК Андрій

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

makarchukandriy1999@gmail.com

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ ПОВНОГО ПЕРЕБОРУ ТА МЕТОДУ ЛИТВАКА-УШАКОВА

На фоні активного розвитку інформаційних систем та збільшення вимог до них зростає різноманітність методів їх проектування, аналізу та технічної реалізації. Дослідження в даному напрямку проводяться досить широкі, а тому виникає все більше найрізноманітніших аспектів, які слід вивчити. Однак, попри велику кількість тем та проблем, які вивчаються, їх можна умовно поділити на дві категорії: технічні та теоретичні. До першої групи, як правило, відносяться дослідження, пов'язані з розробкою технічного забезпечення інформаційних систем. Попри це, не менш важливими є проблеми більш теоретичного характеру, які, в свою чергу, вивчають задачі оптимального розміщення та розподілу засобів, встановлення їх кількості, надійності системи, тощо.

Одним із найбільш актуальних напрямків дослідження в цій сфері є оцінка різних критеріїв та показників функціональної стійкості системи. Під функціональною стійкістю розуміють можливість системи бодай частково виконувати основні функції на фоні негативного впливу ззовні. До основних її показників відносять так звану ймовірність зв'язності, яка представляє собою ймовірність обміну повідомленнями між абонентами мережі. На фоні цього розроблено ряд як точних, так і наближених методів обрахунку цієї ймовірності. Однак, кожен з них має свої переваги та недоліки, а тому постає питання в їх порівнянні.

Особливий практичний інтерес виникає навколо того питання, який краще використовувати складніший, але точний метод обрахунку ймовірності передачі даних між абонентами чи простіший, але наближений? З цією метою в даній роботі проводиться порівняльний аналіз відомих методів, а саме методу повного перебору та методу Литвака-Ушакова. Наведено загальну їх суть та на конкретному прикладі демонструється їх використання. Розглянуто їх переваги та недоліки по відношенню один до одного та робиться загальний висновок щодо специфіки їх застосування.

Ключові слова: розподілені інформаційні системи, функціональна стійкість, ймовірність зв'язності, параметри графа, переборні методи, програмне забезпечення, алгоритмічна складність.

BARABASH Oleg, MUSIENKO Andrii, MAKARCHUK Andriy

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF INDICATOR OF FUNCTIONAL STABILITY OF INFORMATION SYSTEMS ON EXAMPLE ON FULL OVERHAUL AND LITVAK-USHAKOFF METHOD

Against the background of active development of information systems and increasing requirements for them, the variety of their design methods is increasing. Research in this sphere is quite broad, and therefore there are more and more diverse aspects that must be studied. However, despite the large number of topics and problems studied, they can be conventionally divided into two categories: technical and theoretical. The first category, as a rule, includes research related to the development of technical support for information systems. Despite this, no less important are problems of a more theoretical nature, which, in turn, study the problems of optimal placement and distribution of means, establishing their number, system reliability, etc.

One of the most relevant areas of research in this area is the assessment of various criteria and indicators of the functional stability of the system. Functional stability means the system's ability to at least partially perform basic functions against the background of negative external influences. Its main indicators include the so-called probability of connectivity, which is the probability of exchanging messages between network subscribers. Against this background, a number of both exact and approximate methods of calculating this probability have been developed. However, each of them has its advantages and disadvantages, and therefore the question arises when comparing them.

Of particular practical interest is the question of whether it is better to use a more complex but accurate method of calculating the probability of data transmission between subscribers or a simpler but approximate one? For this purpose, this paper conducts a comparative analysis of known methods, namely, the method of complete enumeration and the Litvak-Ushakov method. Their general essence is presented and their use is demonstrated on a concrete example. Their advantages and disadvantages in relation to each other are considered and a general conclusion is made regarding the specifics of their application.

Keywords: distributed information systems, functional stability, connectivity probability, graph parameters, exhaustive methods, software, algorithmic complexity.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На практиці все більш актуальним становляться задачі, пов'язані з проектуванням та експлуатацією мереж різного роду. Зокрема, інтерес визивають великогабаритні та сильнонавантажені мережі та обчислювальні системи, орієнтовані на роботу та обмін даними, які прийнято називати розподіленими інформаційними системами [1].

При роботі з розподіленими інформаційними системами слід розуміти не лише її архітектуру та основні параметри, а й її працездатність на фоні різного роду дестабілізуючих факторів. Для цього вводять поняття функціональної стійкості [2, 3]. Під даним терміном розуміють спроможність системи працювати під впливом різних чинників, які цьому перешкоджають.

На етапі розробки і, особливо, експлуатації розподіленої інформаційної системи у зв'язку з різними факторами з'являється ймовірність того, що повідомлення між абонентами такої системи можуть не доставлятися. Зокрема, це може бути пов'язане з можливістю несправності частини апаратних засобів у потрібний момент часу. На фоні цього фактору одним із значущих показників функціональної стійкості такої системи є так звана ймовірність зв'язності, або ймовірність того, що між двома абонентами повідомлення таки буде передано.

Відомо, що методів обрахунку ймовірності зв'язності існує чимало [6, 7]. Деякі з них дозволяють обчислити даний показник функціональної стійкості точно, деякі – лише оцінити, в яких межах він знаходиться. Найпростішим прикладом першої групи можна вважати метод повного перебору [1, 4], а другої – метод Литвака-Ушакова [5]. Очевидно, що кожен з них має свої переваги і недоліки, що приводить до задачі порівняльного аналізу даних двох методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Під функціональною стійкістю розуміють здатність системи виконувати поставлені задачі на фоні несприятливих обставин [1-4, 6-9]. Дане поняття є одним із ключових з практичної точки зору, оскільки воно тісно пов'язане із виконанням основних задач, покладених на систему [5, 9], зокрема, з передачею даних.

Останніми роками кількість досліджень, пов'язаних із функціональною стійкістю систем [10-12], значно зросла. Це можна пояснити, в тому числі, тим, зростом інформатизації та автоматизації всіх видів діяльності людини. Даний факт можна спостерігати як по дослідженням, які проводяться [10], так і по запитам підприємств, сфери послуг, бізнесу, тощо. Зокрема, особливий інтерес в цьому контексті спостерігається до систем, які можна моделювати та досліджувати як графові структури [8, 13, 14]. Це визвано тим фактом, інформаційні системи, як правило, досить добре описуються в термінах теорії графів якщо не повністю, то, як мінімум, частково, а тому логічними є спроби використати даний математичний апарат в дослідженні функціональної стійкості цих інформаційних систем.

Зрозуміло, що окрім теоретичного дослідження функціональної стійкості, актуальним є питання її реалізації. Реалізація функціональної стійкості досягається за рахунок використання у технічній системі різних тих чи інших видів надмірності (наприклад, інформаційної, функціональної чи структурної) за допомогою перерозподілу ресурсів з метою компенсації наслідків позаштатних ситуацій [1, 9].

Особливе практичне значення даний напрям досліджень знайшов в сфері інформаційних технологій. Як показано, наприклад, в [5, 15], питання функціональної стійкості інформаційної системи є досить актуальним в таких напрямках, як мережеві та телекомунікаційні технології. В [16, 17] продемонстровано, що дослідження функціональної стійкості інформаційної системи може реалізовуватися за допомогою різних методів, а тому логічними є спроби порівнювати вже розроблені методи або, при необхідності, розробляти нові.

Мета і задачі досліджень

Метою даної роботи є порівняння складності обчислення ймовірності зв'язності розподіленої інформаційної системи за допомогою методу повного перебору та методу Литвака-Ушакова.

Задачами дослідження є:

- Встановлення складності обчислення ймовірності зв'язності системи за методом повного перебору;
- Встановлення складності обчислення ймовірності зв'язності системи за методом Литвака-Ушакова;
- Порівняльний аналіз складності обчислення ймовірності зв'язності системи за даними двома методами.

Виклад основного матеріалу

Обчислення ймовірності зв'язності шляхом повного перебору

Одним із аналітичних методів оцінки функціональної стійкості [9, 10] двополюсної розподіленої системи є метод прямого перебору. Загальна ідея даного методу полягає в тому, щоб обрахувати ймовірність зв'язності P_{ij} за формулою

$$P_{ij} = \sum_{k=1}^m p(s_k), \quad (1)$$

де m - кількість шляхів s_k , які сполучають вершини v_i та v_j , а $p(s_k)$ - ймовірність справності цього шляху. Неважко побачити, що формула (1) еквівалентна такій:

$$P_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^m (1 - p(s_k)). \quad (2)$$

Попри те, що є методи оперативного обрахунку формули (2), які наведені в роботі [13]. У деяких випадках її можна обрахувати «ручним» перебором всіх шляхів, що існують між полюсами. Продемонструємо вище сказане на наступному прикладі. Розглянемо структуру, задану графом, зображеним на рис.1.

Покладемо, що справність всіх ребер рівноймовірна і дорівнює p . Покладемо також, що всі вузли комутацій абсолютно справні. Згідно з формулою (1), ймовірність зв'язності P_{15} буде обраховуватися наступним чином:

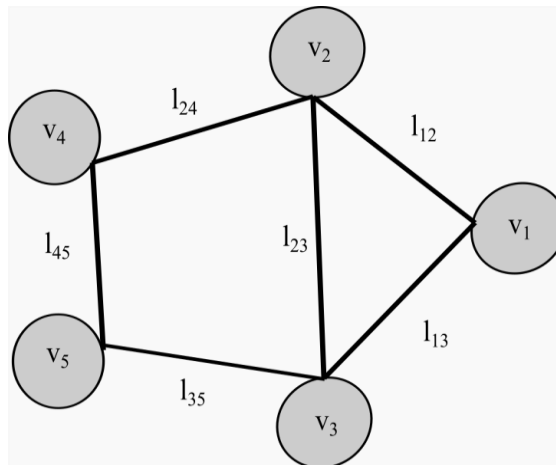


Рис. 1. Структура досліджуваної розподіленої інформаційної системи

$$\begin{aligned} P_{15} &= 1 - (1 - p^2)(1 - p^3)^2(1 - p^4) = \\ &= -p^{12} + p^{10} + 2p^9 + p^8 - 2p^7 - 2p^6 - 2p^5 + p^4 + 2p^3 + p^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Отже, ймовірність передачі повідомлення з вузла v_1 в вузол v_5 обчислюється за формулою (3) як функція від ймовірності справності вузлів p .

Оцінка ймовірності зв'язності за методом Литвака-Ушакова

Метод Литвака-Ушакова оцінки функціональної стійкості двополюсної розподіленої системи полягає в наступному:

1. Знаходимо множину мінімальних шляхів;
2. Знаходимо множину мінімальних перерізів;
3. Формуємо множину мінімальних шляхів, які не пересікаються;
4. Формуємо множину мінімальних перерізів, які не пересікаються;
5. Всі мінімальні шляхи подаємо у вигляді паралельного сполучення, і максимальну ймовірність справності серед них вибираємо як нижню оцінку параметру P_{ij} ;

б. Всі мінімальні перерізи подаємо у вигляді послідовного з'єднання, і мінімальну і максимальну ймовірність справності серед них вибираємо як нижню оцінку параметру P_{ij} .

Розглянемо застосування методу Литвака-Ушакова на прикладі, розглянутому в попередньому розділі. Позначимо як \underline{P}_{15} нижню оцінку ймовірності зв'язності розподіленої системи і як \bar{P}_{15} – верхню оцінку, відповідно. Виходячи із вище описаного алгоритму, можна стверджувати наступне:

$$\underline{P}_{15} = \max\left(1 - (1 - p^2)(1 - p^3), p^3, p^4\right), \quad (4)$$

$$\bar{P}_{15} = \min\left(\left(1 - (1 - p)^2\right)\left(1 - (1 - p)^3\right), 1 - (1 - p)^3, 1 - (1 - p)^4\right). \quad (5)$$

Спростимо співвідношення (4) і (5) з урахуванням того, що ймовірність p належить проміжку $[0;1]$.

$$\begin{aligned} \underline{P}_{15} &= \max\left(1 - (1 - p^2)(1 - p^3), p^3, p^4\right) = \\ &= \max\left(-p^5 + p^3 + p^2, p^3, p^4\right) = -p^5 + p^3 + p^2 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_{15} &= \min\left(\left(1 - (1 - p)^2\right)\left(1 - (1 - p)^3\right), 1 - (1 - p)^3, 1 - (1 - p)^4\right) = \\ &= \min\left(-p^2(p - 2)(p^2 - 3p + 3), p^3 - 3p^2 + 3p, -p^4 + 4p^3 - 6p^2 + 4p\right) = \\ &= -p^2(p - 2)(p^2 - 3p + 3). \end{aligned} \quad (7)$$

Далі, за співвідношеннями (3), (6)-(7), можемо побудувати графік зміни ймовірності зв'язності системи, представленої на рис. 1, залежно від ймовірності справності ліній зв'язку (рис.2).

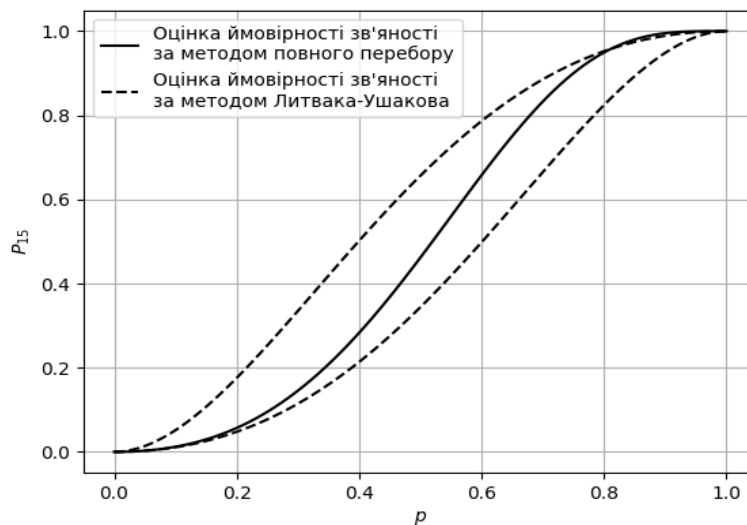


Рис. 2. Ймовірність передачі повідомлення з вузла V_1 в вузол V_5

Порівняння складності обчислень ймовірності зв'язності при повному переборі та при оцінюванні за допомогою методу Литвака-Ушакова

В попередніх двох розділах було продемонстровано два методи обрахунку ймовірності зв'язності двополусної розподіленої інформаційної системи: один точний та один наближений. На фоні цього є сенс в їх порівнянні.

Почнемо з методу повного перебору. До переваг даного методу можна віднести можливість точного обчислення ймовірності передачі повідомлень між полюсами системи та наочність у випадку малих габаритів системи, яка моделюється. Однак, попри це, специфіка методу повного перебору не дозволяє його алгоритмізувати [1]. Не менш важливим недоліком є дуже велика обчислювальна складність, яка, в загальному випадку, становить $O(2^n)$, де n – кількість елементів системи, яка моделюється.

Оцінка ймовірності зв'язності за методом Литвака-Ушакова являється менш затратним підходом. Це можна прослідкувати, наприклад, порівнюючи формули (6)-(7) з формулою (3). З його допомогою ми можемо отримувати верхню та нижню оцінки ймовірності, які обчислюються, в загальному випадку, за $O(n^2)$ операцій. Однак, як можна бачити з рис.2, отримані оцінки можуть бути допускати досить велику варіацію, що породжує можливість отримати малоінформативні оцінки функціональної стійкості системи, що моделюється, а це, взагалі, кажучи, є недопустимим фактором.

На фоні всього вище сказаного, мабуть, найбільш важливим аспектом в порівнянні методу повного перебору та методу Литвака-Ушакова є ускладнення обчислень при ускладненні інформаційної системи, ймовірність зв'язності якої досліджується.

Для наочності розглянемо наступну ситуацію. Нехай в системі, представлений на рис. 1., провели ще дві лінії зв'язку, в результаті чого дана система представляється таким графом (рис.3).

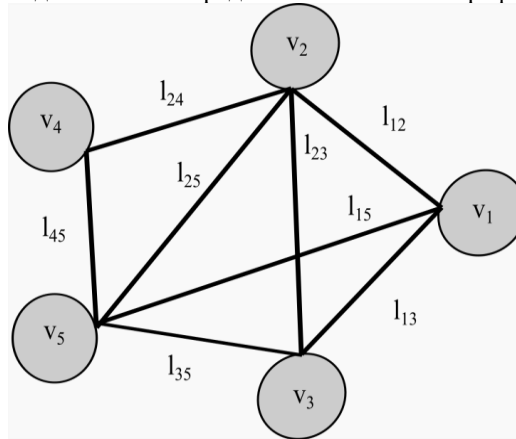


Рис. 3. Структура розглядуваної вище системи після додавання двох ліній зв'язку

Діючи по аналогії, бачимо, що тепер

$$P_{15} = p^{18} - p^{17} - 2p^{16} - p^{15} + 3p^{14} + 6p^{13} - p^{12} - 5p^{11} - 7p^{10} + 7p^8 + 5p^7 + p^6 - 6p^5 - 3p^4 + p^3 + 2p^2 + p, \quad (8)$$

$$P_{15} = p^4, \quad (9)$$

$$\bar{P}_{15} = -p^4 + 4p^3 - 6p^2 + 4p. \quad (10)$$

Зобразимо отримані результати на графіку (рис. 4).

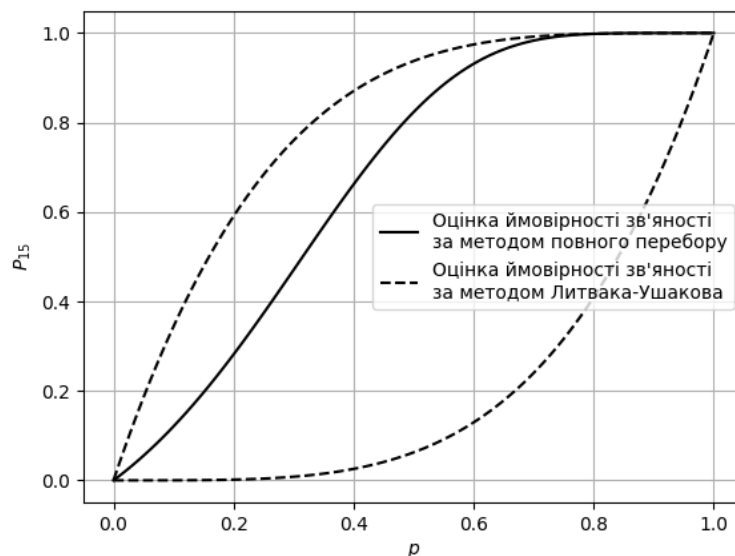


Рис. 4. Оцінка ймовірності зв'язності системи після додавання двох ліній зв'язку

Як видно, надійність дещо виросла, однак, кількість обчислень, необхідних для обчислення ймовірності зв'язності методом повного перебору, зростає в кілька раз, чого не спостерігається стосовно оцінок, побудованих за допомогою методу Литвака-Ушакова. Це чітко вказує на те, що перший метод є надзвичайно чутливим до ускладнення досліджуваної системи, а тому є малоефективним у використанні у випадку дуже великих розподілених систем та систем, які планують розширювати.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В даній роботі проведено порівняльний аналіз двох методів обчислення ймовірності передачі даних між полюсами двополюсної розподіленої системи, а саме методу повного перебору та методу Литвака-Ушакова. Розглянуто їх загальний алгоритм та на конкретному прикладі показано їх застосування.

Основною перевагою методу повного перебору є те, що він дозволяє точно розрахувати ймовірність передачі повідомлення, а також є досить наглядним у випадку малої розподіленої системи. Однак, він алгоритмізується складніше, ніж метод Литвака-Ушакова, і, в загальному випадку, вимагає більше обчислень. Попри те, останній метод може бути малоінформативним, що визиває підвищений інтерес до розробки одночасно якісних та зручних у використанні наближених методів оцінки показників функціональної стійкості інформаційної системи.

Література

1. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем. К.: НАОУ, 2004. 226 с.
2. Машков О.А. Критерий функциональной устойчивости информационно-управляющих комплексов. Тезисы докладов 5 Королевских чтений 2 республиканской конференции. К.: АН УССР, 1990. С. 64.
3. Машков О.А., Самчишин О.В. Концептуальні основи синтезу функціональної стійкості системи радіомоніторингу (інформаційні аспекти). *Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.С.Пухова НАН України*, 2010. Вип. 56. С. 136 – 145.
4. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. М.: Радио и связь, 1988.
5. Райншке К., Ушаков И.А. Оценка надежности систем с использованием графов. М.: Радио и связь, 1988. 208 с.
6. Машков О.А., Барабаш О.В. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*, 2005. Вип.1. С. 157 – 163.
7. Барабаш О.В., Кравченко Ю.В. Функціональна стійкість — властивість складних технічних систем. *Збірник наукових праць Національної академії оборони України*, 2002. Бюл. № 40. С. 225 – 229.
8. Саланда І.П., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. Методи пошуку оптимальних маршрутів графа структури розгалуженої інформаційної мережі за заданим критерієм оптимальності при різних обмеженнях. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*, 2016. № 2 (42). С. 99 – 106.
9. Барабаш О. В., Лукова-Чуйко Н. В., Мусієнко А. П., Ільїн О. Ю. Аналіз застосування мереж Петрі для підтримки функціональної стійкості інформаційних систем. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, 2018. № 1 (58). С. 11 – 18.
10. Собчук В.В., Замрій І.В., Власик Г.М., Зінченко О.В., Кравець В.І. Функціональна стійкість технологічних процесів та формування індивідуальної стратегії управління експлуатацією виробничих центрів. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, 2021. № 1 (70). С. 4 – 16.
11. Круглий Д. Г. Ключові проблеми та перспективи розвитку річкових інформаційних систем України. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*, 2020. Т. 31, № 6. С. 150 – 157.
12. Sobchuk V.V., Varabash O.V., Musienko A.P., Laptev O.A. Analysis of the main approaches and stages to ensure the properties of the functional stability of information systems of the enterprise. *Sciences of Europe*, Praha, 2020. Vol. 1, No 42. P. 41 – 44.
13. Березовська Ю.В. Забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи при обмеженій вихідній інформації про визначальні випадкові величини. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2020. № 4 (69). С. 69 – 78.
14. Собчук В.В., Лаптев О.А., Саланда І.П., Сачук Ю.В. Математична модель структури інформаційної мережі на основі нестационарної ієрархічної та стаціонарної гіпермережі. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, 2019. Вип. 64. С. 124 – 132.
15. Смірнова Т.В. Метод забезпечення надійності підключення вузлів до інформаційно-комунікаційної системи підприємства на базі 5G. *Сучасні інформаційні системи*, 2022. Т. 6, № 2. С. 82 – 87.
16. Гук О.М., Пермяков О.Ю., Нестеров О.М., Уварова Т.В. Аналіз існуючих підходів щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем військового призначення. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, 2020. Том 39, № 3. С. 39 – 44.

17. Барабаш О.В., Пашков Д.П., Горський О.М. Інформаційний підхід до забезпечення функціональної стійкості складних організаційних ерготехнічних систем. *Системи обробки інформації*, 2016. № 9 (146). С. 86 – 89.

References

1. Barabash O.V. Construction of functionally stable distributed information systems. Kyiv city, The national defence University of Ukraine, 2004: 226 p.
2. Mashkov O.A. Criterion for the functional stability of information and control complexes. *Abstracts of reports of 5 Royal readings of 2 republican conference*. Kyiv, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1990. P. 64.
3. Mashkov O.A., Samchyshyn O.V. Conceptual bases of the synthesis of functional stability of the radio monitoring system (informational aspects). *Modeling and information technologies: Coll. of science Ave. IPME named after G. E. Pukhov, National Academy of Sciences of Ukraine*, 2010, 56, 136 – 145.
4. Filin B.P. Methods of analysis of structural reliability of communication networks. M.: Radio and communication, 1988.
5. Reinshe K., Ushakov I.A. Assessing the reliability of systems using graphs. M.: Radio and communication, 1988, 208 p.
6. Mashkov O.A., Barabash O.V. Assessment of functional stability of distributed information and control systems. *Physico-mathematical modeling and information technologies*, 2005, 1, 157 – 163.
7. Barabash O.V., Kravchenko Yu.V. Functional stability is a property of complex technical systems. *Collection of scientific works of the National Academy of Defense of Ukraine*, 2002, 40, 225 – 229.
8. Salanda I. P., Barabash O.V., Musienko A.P. Methods of finding optimal routes of the graph structure of a branched information network according to a given criterion of optimality under various constraints. *Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communications*, 2016, 2(42), 99 – 106.
9. Barabash O.V., Lukova-Chuiko N.V., Musienko A.P., Ilin O.Yu. Analysis of the use of Petri networks to support the functional stability of information systems. *Telecommunications and information technologies*, 2018, 1(58), 11 – 18.
10. Cobchuk V.V., Zamrij G.M., Zinchenko O.V., Kravets' V.I. Functional stability of technological processes and the formation of an individual strategy for managing the operation of production centers. *Telecommunications and information technologies*, 2021, 1(70), 4 – 16.
11. Kruglyi D.G. Key problems and prospects for the development of river information systems of Ukraine. *Academic notes of TNU named after V.I. Vernadsky*, 2020, 31(6), 150 – 157.
12. Sobchuk V.V., Barabash O.V., Musienko A.P., Laptev O.A. Analysis of the main approaches and stages to ensure the properties of the functional stability of information systems of the enterprise. *Sciences of Europe*, Praha, 2020. Vol. 1, No 42, 41 – 44.
13. Berezovska Yu. V. Ensuring the functional stability of the information system with limited initial information about determining random variables. *Telecommunications and information technologies*, 2020, 4 (69), 69 – 78.
14. Sobchuk V.V., Laptiev O.A., Salanda I.P., Sachuk Yu.V. Mathematical model of information network structure based on non-stationary hierarchical and stationary hyper-network. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University*, 2019, 64, 124 – 132.
15. Smirnova T.V. The method of ensuring the reliability of the connection of nodes to the information and communication system of the enterprise based on 5G. *Advanced information systems*, 2022, 2(6), 82 – 87.
16. Guk O.M., Permiakov O.Yu., Nesterov O.M., Uvarova T.V. Analysis of existing approaches to assessing the functional stability of heterogeneous military information systems. *Modern information technologies in the field of security and defense*, 2020. 3(39), 39 – 44.
17. Barabash O.V. Pashkov D.P., Gors'kyi O.M. An informational approach to ensuring the functional stability of complex organizational ergonomic systems. *Information processing systems*, 2016, 9(146), 86 – 89.