

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-6>

УДК 681.324

БАРАБАШ Олег

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
bar64@ukr.net

МАКАРЧУК Андрій

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
makarchukandriy1999@gmail.com

САЛАНДА Іванна

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка
salanda.ivanna@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЙМОВІРНІСНОГО ПОКАЗНИКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

На даний час спостерігається активна інформатизація самих різних сфер суспільства. Це є основним фактором того, що все більш активно починають використовувати розподілені інформаційні системи. Оскільки ці інформаційні системи часто є немалими, очікуваними є необхідність в розробці та модифікації методів оцінювання їх функціональної стійкості.

Протягом останніх десятиліть було описано чимало показників функціональної стійкості розподілених інформаційних систем та способів їх обчислення. До них можна віднести такі як реберна та вершинна зв'язність, ймовірність та матриця зв'язності, тощо. Однак, обчислення деяких з них передбачають дуже велику кількість обчислень та, іноді, й інших не менш складних супровідних процесів. Тому виникає необхідність в модифікації цих показників функціональної стійкості з ціллю оптимізації їх обчислення.

В даній роботі досліджується модифікація такого показника функціональної стійкості як згортка матриці зв'язності. На відміну від інших робіт, пропонується використовувати наперед задане ядро замість такого, що залежить від певних параметрів. За рахунок цього досягається спрощення використання даного ймовірнісного показника завдяки відсутності необхідності періодичного перерахунку ядра у випадку змін параметрів системи. Також демонструються особливості поведінки описаної згортки у випадку залежності матриці зв'язності від ймовірності справності ліній зв'язку. В результаті цього показано, що при достатньо великих значеннях цього параметра його невеликі коливання на функціональну стійкість розподіленої інформаційної системи майже не впливають, тобто вона все рівно буде близька до максимально можливої.

Отримані в роботі результати можуть бути використані для більш оптимального оцінювання функціональної стійкості розподілених інформаційних систем та дослідження впливу різних параметрів на неї.

Ключові слова: інформаційна система, функціональна стійкість, показник функціональної стійкості, модифікація.

BARABASH Oleg, MAKARCHUK Andriy

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

SALANDA Ivanna

Kremenets Taras Shevchenko Regional Academy of Humanities and Pedagogy

THE STUDYING OF THE PROBABLE INDICATOR OF FUNCTIONAL STABILITY OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

Currently, there is an active informatization of various spheres of society. This is the main reason why distributed information systems are increasingly being used. Since these information systems are often quite large, the need to develop and modify methods for assessing their functional stability is expected.

During the last decades, many indicators of functional stability of distributed information systems and methods of their calculation have been described. These include edge and vertex connectivity, probability and connectivity matrix, etc. However, the calculation of some of them involves a very large number of calculations and, sometimes, other equally complex accompanying processes. Therefore, there is a need to modify these indicators of functional stability in order to optimize their calculation.

This paper examines the modification of such an indicator of functional stability as the convolution of the connectivity matrix. Unlike other works, it is proposed to use a predefined kernel instead of one that depends on certain parameters. Due to this, it is possible to simplify the use of this probability indicator due to the absence of the need to periodically recalculate the kernel in case of changes in the system parameters. The peculiarities of the behavior of the described convolution in the case of the dependence of the connectivity matrix on the probability of serviceability of communication lines are also demonstrated. As a result of this, it is shown that with sufficiently large values of this parameter, its small fluctuations have almost no effect on the functional stability of the distributed information system, that is, it will still be close to the maximum possible.

The results obtained in the work can be used for a more optimal assessment of the functional stability of distributed information systems and the study of the influence of various parameters on it.

Keywords: information systems, functional reliability, functional stability indicator, modification.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Останніми десятиліттями спостерігається активна інформатизація всіх сфер людської діяльності. Даний фактор є основним стимулом для все більшого використання різного роду розподілених інформаційних систем (PIC).

При використанні РІС в реальних умовах завжди необхідно забезпечувати її функціональну стійкість [1-3], тобто можливість, хоча б, виконувати свої задачі під впливом несприятливих умов [4]. Для забезпечення функціональної стійкості повинні існувати певні показники та критерії функціональної стійкості, по яких можна судити, наскільки використовувана система здатна виконувати поставлені завдання [5].

Обчислення показників функціональної стійкості дозволяє чисельно охарактеризувати, наприклад, достовірність передачі даних в РІС залежно від ймовірності справності елементів, навантаженості системи, тощо, або оцінити запас функціональної стійкості у випадку деградації РІС. Завдяки цьому, відповідно, можна приймати певні рішення щодо архітектури, апаратного та програмного забезпечення, обслуговуючого персоналу, тощо.

Одним із досить інформативних показників функціональної стійкості системи є так звана ймовірність зв'язності R_{ij} , який фактично описує ймовірність передачі інформації між двома вибраними вершинами v_i та v_j розглядуваної РІС, які в даному випадку називають витоком та стоком. Але так як на практиці необхідно володіти інформацією про передачу даних між усіма можливими парами вершин, то доцільно розглядати такий ймовірнісний показник як матриця зв'язності

$$W = \begin{pmatrix} 0 & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & 0 & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & R_{n-1,n} \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

де R_{ij} – це ймовірність зв'язності інформаційної системи з витоком в вершині v_i та стоком в v_j , або його згортку.

Для обчислення ймовірності R_{ij} описано та досліджено ряд способів [1-4]. До них можна віднести метод повного перебору, метод Литвака-Ушакова, метод Езарі-Прошана та інші. Однак, дані методи обчислення є, як правило, складними. Тому метою даної роботи є модифікація обчислення ймовірнісного показника, оснований на згортці матриці зв'язності (1), яка є більш простою в реалізації за раніше розглянуті методи, а також досліджується специфіка поведінки цієї модифікації залежно від деяких параметрів.

Аналіз досліджень та публікацій

Питання обчислення показників і критеріїв функціональної стійкості [1] та суміжних характеристик [6] розглядається останнім часом особливо активно. Так, наприклад, в [1, 7-9] ведеться огляд немалої кількості структурних та ймовірнісних показників функціональної стійкості розподілених інформаційних систем та розглядаються різні математичні аспекти, пов'язані з ними. В [7] розглядається лише частина із них, але їх розбір ведеться з точки зору бортового обладнання повітряних суден. Автори ж [8] проводять подібний аналіз, але в контексті інтелектуального управління автономних повітряних суден. А в [9] автори роблять огляд показників функціональної стійкості вже ієрархічних систем.

В [2] пропонується огляд, розгорнутий опис двох структурних та одного ймовірнісного показників функціональної стійкості, а саме ступеня реберної та вершинної зв'язності і ймовірності зв'язності. Паралельно з цим досліджується загальна їх специфіка та показується, як за допомогою тих показників можна оцінювати функціональну стійкість інформаційної системи. В [3] проведено порівняльний аналіз одного точного та одного наближеного методів обчислення ймовірності зв'язності РІС. Разом з тим, демонструються їх особливості щодо інформативності застосування.

Також в ряді робіт пропонується способи математичної формалізації показників та критеріїв функціональної стійкості [10, 11]. В автори [12] вводять кілька структурних показників та критеріїв функціональної стійкості та аналізують їх за допомогою теорії графів. А от в [13] описується більш абстрактна математична концепція того, що таке функціональна стійкість та деструктивні впливи на роботу розглядуваної системи. Подібні спроби проводяться, наприклад, і в [14]. А от в [15] ведеться аналіз загальних положень щодо функціональної стійкості в комп'ютерних системах.

Попри таке різноманіття піднятих питань щодо функціональної стійкості та її показників і критеріїв, в роботах, що стосуються останніх, як правило, вводяться нові показники та критерії та показники функціональної стійкості або вивчаються вже існуючі. Але зараз досить погано розкриті питання, пов'язані з їх модифікацією та оптимізацією, що на даний час є особливо актуальним із-за активної інформатизації більшості сфер суспільства та людської діяльності. Тому досить актуальним є розгляд способів удосконалення показників і критеріїв функціональної стійкості та методів їх обчислення.

Формулювання цілей статті

Важливим показником функціональної стійкості є ймовірнісний показник, базується на згортці матриці зв'язності. Запропоновані методи обчислення цього показника є доволі складними, в тому числі, й із технічної точки зору. Тому виникає необхідність в модифікації даного показника таким чином, щоб він адекватно описував функціональну стійкість розглядуваної системи і, при цьому, вимагав менше обчислень.

Виклад основного матеріалу

Одним із показників функціональної стійкості є згортка так званої матриці зв'язності (1). В деяких роботах, пропонується використовувати згортку матриці (1) і матриці

$$H = \begin{pmatrix} 0 & h_{12} & \cdots & h_{1n} \\ h_{21} & 0 & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & h_{n-1,n} \\ h_{n1} & h_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

елементи якої залежать, наприклад, від трафіку в лініях зв'язку та середнього трафіку по всій мережі. Однак, таке елементів матриці (2) може бути технічно складною задачею, тому виникає питання про інше визначення (2). В даній роботі проводиться спроба інакше означити (2) та дослідити поведінку отриманого показника, що базується на згортці матриць (1) та (2).

При дослідженні функціональної стійкості інформаційної системи важливою є архітектура цієї інформаційної системи. Тому логічно спробувати означити елементи h_{ij} матриці (2) саме через неї. Однак, виникає питання про те, як це зробити так, щоб згортка (1) та (2) максимально адекватно описувала функціональну стійкість. Одним із можливих варіантів є наступний

$$h_{ij} = \frac{ij N_{\min}}{(|i-j|+1)^2}, i \neq j \wedge h_{ij} = 0, i = j, \quad (3)$$

де $ij N_{\min}$ – це мінімальна кількість ліній зв'язку, що належать шляху між вершинами v_i та v_j з найменшою кількістю вершин. Тоді критерій функціональної стійкості K буде обчислюватися так:

$$K = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{ij N_{\min} R_{ij}}{(|i-j|+1)^2}. \quad (4)$$

Продемонструємо застосування (4) до конкретної інформаційної системи, поклавши, що всі машини в ній є абсолютно справними, а лінії зв'язку робочі з імовірністю p . Нехай інформаційну систему можна представити у вигляді такого графу (рис. 1):

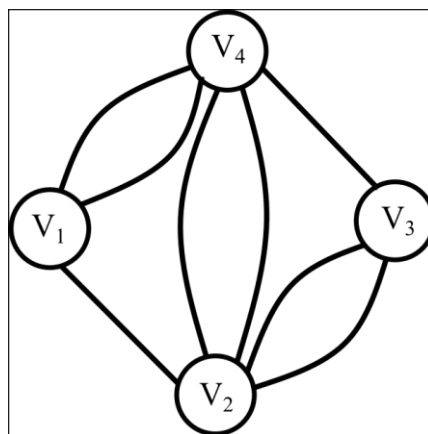


Рис. 1. Приклад інформаційної системи

Отримаємо значення показника (4), яке можна представити на графіку (рис. 2).

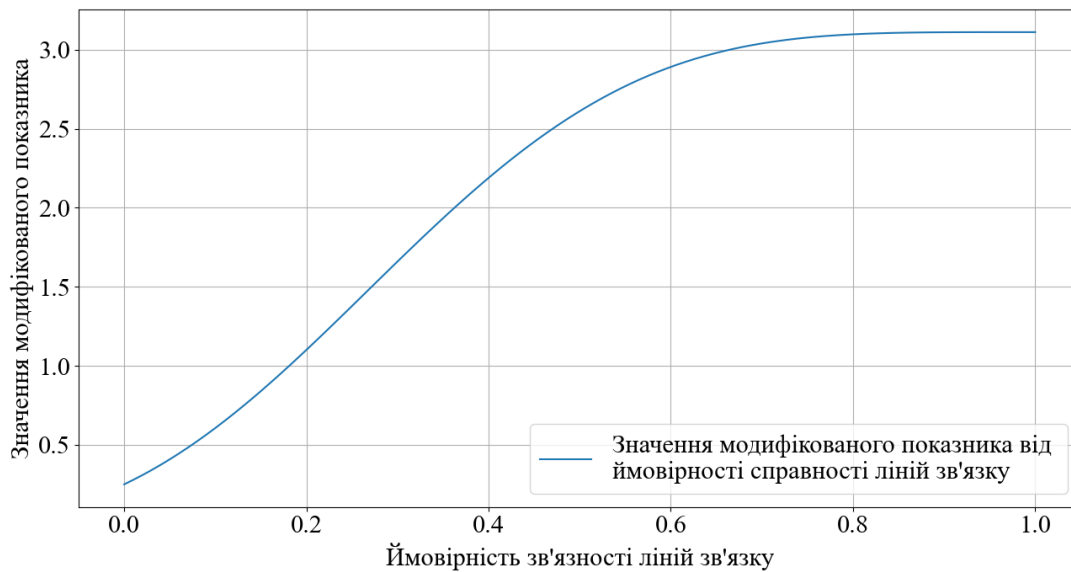


Рис. 2. Значення отриманого показника функціональної стійкості для наведеної інформаційної системи

Як видно із рис. 2, отриманий для РІС, представленої на рис.1. показник можна розглядати як монотонно зростаючу функцію від ймовірності справності ліній зв'язку (і, відповідно, й ряду інших параметрів). Це наводить на думку, що таку поведінку модифікованого ймовірнісного критерію, наведеного в роботі, можна очікувати й в загальному випадку.

Щоб упевнитися в тому, що така поведінка спостерігається для довільних інформаційних систем при такій постановці задачі розглянемо іншу РІС, представлену графом на рис. 3.

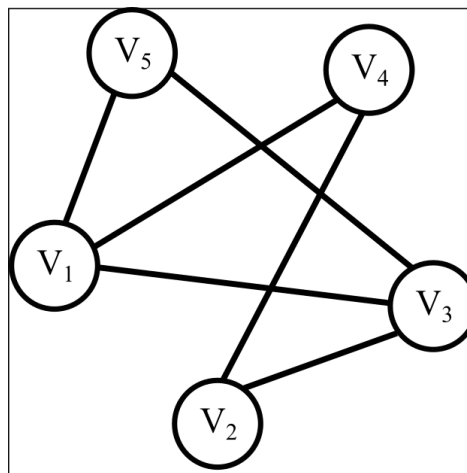


Рис. 3. Інший приклад інформаційної системи

Для неї введений показник функціональної стійкості, матиме наступну поведінку (рис. 4).

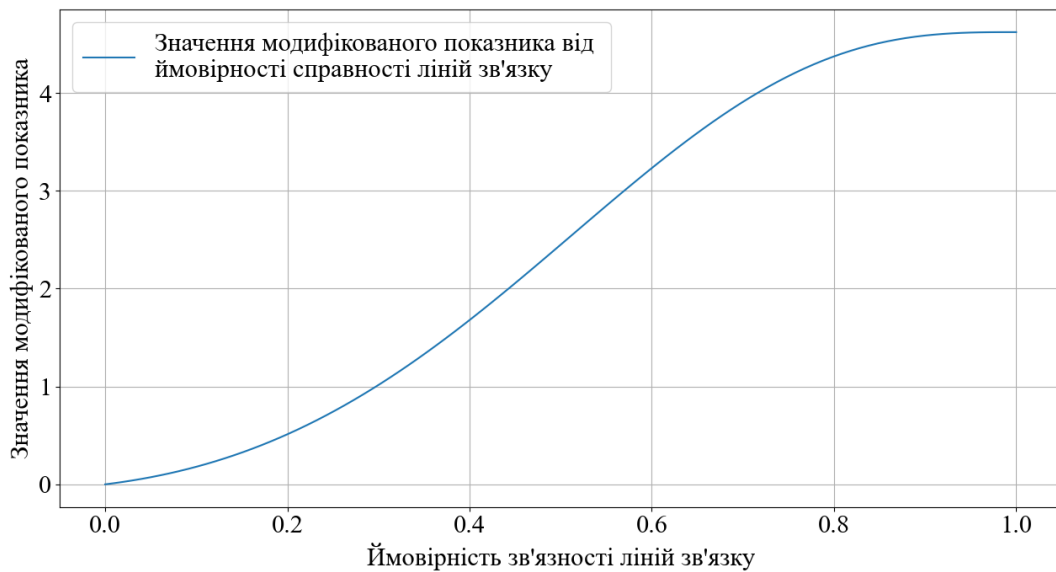


Рис. 4. Показник функціональної стійкості для другої системи

Бачимо, що отриманий показник функціональної стійкості (4) дійсно монотонно зростає при покращенні показників елементів системи, в нашому випадку, ймовірності справності ліній зв'язку. Тому стає зрозумілим, що за допомогою (4) можна явно досліджувати вплив параметрів елементів РІС на її функціональну стійкість. В нашому випадку, як можна побачити з рис. 2 та рис. 4, якщо ймовірність справності ліній зв'язку більша за 0,9, то можна очікувати, що функціональна стійкість розглядуваної РІС буде досить близька до максимальної, навіть, при невеликих коливаннях самої ймовірності справності ліній зв'язку.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В роботі запропонована модифікація ймовірнісного показника функціональної стійкості розподіленої інформаційної системи. Розглянута модифікація є простішою в плані обчислень, аніж варіанти, запропоновані в інших роботах. Це досягається за рахунок простої суто математичної постановки обчислення матриці H , згортокою якої з матрицею зв'язності W і є ймовірнісним показником функціональної стійкості.

В роботі продемонстровано, що отримана модифікація є монотонно зростаючою функцією від введених параметрів. Також показано, що при достатньо високих значеннях параметрів поведінка показника (4) функціональної стійкості буде майже незмінною при малих коливаннях цих параметрів або буде змінюватися досить мало. На основі цього можна прийти до висновку, що для інформаційних систем із високонадійними елементами невелика зміна в їх функціональних характеристиках не буде суттєво впливати на роботу цих інформаційних систем.

Література

1. Барабаш О.В., Кіреєнко В.В. Поняття та визначення властивості функціональної стійкості системи розвідки повітряного противника. *Збірник наукових праць ВІКНУ*, 2013, Т. 44. С. 12–17.
2. Миронюк М.Ю., Майстров О.О., Мусієнко А.П., Макаруч А.В. Аналіз побудови інтелектуальної інформаційної системи на основі поняття функціональної стійкості. *Зв'язок*, 2024, Т. 167. № 1. С. 3–8.
3. Барабаш О.В., Мусієнко А.П., Макаруч А.В. Порівняльний аналіз методів визначення показників функціональної стійкості інформаційних систем на прикладі повного перебору та методу Литвака-Ушакова. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2023. №4, С. 57–63.
4. Барабаш О.В. Побудова функціонально стійких розподілених інформаційних систем. Київ: НАОУ, 2004. 226 с.
5. Березовська Ю.В. Забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи при обмеженій вихідній інформації про визначальні випадкові величини. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, 2020. Т. 69, № 4. С. 69–78.
6. Вишнівський В.В., Каргаполов Ю.В., Березовська Ю.В., Березівський М.Ю., Космінський

Р.В. Оцінка показників надійності інформаційних систем при обмеженій апріорній інформації. *Sciences of Europe*, 2021. № 63. С. 8–14.

7. Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтегрованого комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна та перспективні напрямки його розвитку. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 2021. Т. 68, № 2. С. 7–15.

8. Обідін Д. М., Барабаш О. В. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтелектуалізованої системи автоматичного управління польотом літака. *Системи озброєння і військова техніка*, 2012. Т. 29, № 1. С. 133–136.

9. Машков О.А., Барабаш О.В. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць*, 2003. № 25. С. 29–35.

10. Обідін Д.М. Математична формалізація функціональної стійкості процесів управління літальними апаратами. *Системи озброєння і військова техніка*, 2014. Т. 37, № 1. С. 179–182.

11. Барабаш О.В., Берназ Н.М. Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем. *Системи обробки інформації*, 2015. Т. 137, № 12. С. 97–100.

12. Саланда І.П., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2017. Т. 41, № 1. С. 122–126.

13. Калашник Г.А., Обідін Д.М., Калашник М.А. Забезпечення стійкого функціонування засобів навігації літальних апаратів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів. *Системи обробки інформації*, 2016. Т. 140, № 3. С.52–56.

14. Машков О.А., Барабаш О.В. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*, 2005. № 1. С. 159–165.

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

References

1. Barabash O.V., Kireyenko V.V. The concept and definition of the property of the functional stability of the air enemy reconnaissance system. Collection of scientific papers of VIKNU, 2013, Vol. 44. P. 12–17.

2. Myronyuk M.Yu., Maistrov O.O., Musienko A.P., Makarchuk A.V. Analysis of the construction of an intelligent information system based on the concept of functional stability. *Communication*, 2024, T. 167, No. 1. P. 3-8.

3. Barabash O.V., Musienko A.P., Makarchuk A.V. Comparative analysis of methods for determining the indicators of functional stability of information systems using the example of a complete search and the Litvak-Ushakov method. *Measuring and computing equipment in technological processes*, 2023, No. 4. P. 57–63.

4. Barabash O.V. Construction of functionally stable distributed information systems. Kyiv: NAOU, 2004. 226 p.

5. Berezovska Yu.V. Ensuring the functional stability of the information system with limited initial information about determining random variables. *Telecommunications and information technologies*, 2020. Vol. 69, No. 4. P. 69–78.

6. Vyshnivskiy V.V., Kargaplov Yu.V., Berezovska Yu.V., Berezivskiy M.Yu., Kosminskiy R.V. Evaluation of reliability indicators of information systems with limited a priori information. *Sciences of Europe*, 2021. No. 63. P. 8–14.

7. Kalashnyk G.A., Kalashnyk-Rybalko M.A. Signs and criteria of functional stability of the integrated complex of on-board equipment of a modern aircraft and prospective directions of its development. Collection of scientific papers of the Kharkiv National University of the Air Force, 2021. Vol. 68, No. 2. P. 7–15.

8. Obidin D. M., Barabash O. V. Signs and criteria of functional stability of an intellectualized system of automatic flight control of an aircraft. *Weapons systems and military equipment*, 2012. Vol. 29, No. 1. P. 133–136.

9. Mashkov O.A., Barabash O.V. Topological criteria and indicators of functional stability of complex hierarchical systems. *Modeling and information technologies: Collection of scientific papers*, 2003. No. 25. P. 29-35.

10. Obidin D.M. Mathematical formalization of functional stability of aircraft control processes. *Weapons systems and military equipment*, 2014. Vol. 37, No. 1. P. 179–182.

11. Barabash O.V., Bernaz N.M. Mathematical model of ensuring functional stability of mobile systems. *Information processing systems*, 2015. Vol. 137, No. 12. P. 97–100.

12. Salanda I.P., Barabash O.V., Musienko A.P. System of indicators and criteria for formalization of processes of ensuring local functional stability of branched information networks. *Control, navigation and communication systems*, 2017. Vol. 41, No. 1. P. 122–126.

13. Kalashnyk G.A., Obidin D.M., Kalashnyk M.A. Ensuring stable functioning of aircraft navigation aids under the influence of external destabilizing factors. *Information processing systems*, 2016. Vol. 140, No. 3. P.52–56.

14. Mashkov O.A., Barabash O.V. Assessment of functional stability of distributed information and control systems. *Physico-mathematical modeling and information technologies*, 2005. No. 1. P. 159–165.

15. Yu.V. Kravchenko, S.V. Nikiforov. Definition of the problems of the theory of functional stability in relation to application in computer systems. *Telecommunications and information technologies*, 2014. No. 1. P. 12–18.