

БАРАБАШ ОЛЕГ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>e-mail: bar64@ukr.net

СВИНЧУК ОЛЬГА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9032-63635>e-mail: 7011990@ukr.net

МАКАРЧУК АНДРІЙ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-6422-7488>e-mail: makarchukandriy1999@gmail.com

СПОСІБ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЙМОВІРНІСНОГО ПОКАЗНИКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЯК ФУНКЦІЇ ВІД ЧАСУ

Інформаційні системи є все більш вживаним інструментом для вирішення різних задач. Відповідно, й виникають задачі як теоретичного, так і прикладного характеру, що стосуються проектування інформаційних систем, їх експлуатації, діагностування їх елементів тощо. Деякі з цих задач вже є вирішеними, хоча б, частково, однак, в реальних умовах часто ці задачі доводиться узагальнювати таким чином, щоб можна було досліджувати характеристики інформаційних систем в реальному часі.

Однією з найважливіших характеристик, які бажано досліджувати в реальному часі або, як мінімум, навчитися прогнозувати для розглядуваної інформаційної системи, є так звана функціональна стійкість цієї системи. Багато показників, які розроблені з ціллю математично формалізувати функціональну стійкість, покладають відсутність динамічної зміни структури розглядуваної інформаційної системи, а тому їх застосовність обмежується оцінкою функціональної стійкості лише в конкретний момент часу. Особливо часто така проблема спостерігається в структурних показниках в силу їх специфічного математичного формулювання. Саме тому виникає розробляти певні узагальнення цих показників, яке б дозволяло прогнозувати зміну їх значень в часі.

Одним із показників функціональної стійкості інформаційних систем, які відносно легко узагальнюються на випадок зміни в часі, є так звана ймовірність зв'язності. Ідея даного показника полягає в тому, щоб обчислити ймовірність передачі інформації між вибраною парою машин. В даній роботі проводиться спроба зробити певне узагальнення, внаслідок якого ймовірність зв'язності можна було б розглянути як функцію від часу і, як результат, прогнозувати, як ця ймовірність буде змінюватися з часом. Також досліджуються певні властивості введених параметрів, які виникають при такому узагальненні, та встановлюється оцінка їх максимального значення залежно від тривалості експлуатації інформаційної системи.

Ключові слова: функціональна стійкість, інформаційні системи, архітектура, показник, ймовірність, передача даних, динаміка.

BARABASH OLEG

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

SVYNCHUK OLGA

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

MAKARCHUK ANDRIY

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

METHOD OF PRESENTING THE PROBABILISTIC INDICATOR OF FUNCTIONAL STABILITY OF THE INFORMATION SYSTEM AS A FUNCTION OF TIME

Information systems are increasingly becoming a vital tool for solving various tasks. Consequently, both theoretical and practical challenges arise related to the design of information systems, their operation, and the diagnosis of their components, among other aspects. Some of these challenges have already been partially resolved; however, in real-world conditions, these tasks often need to be generalized in such a way that allows the characteristics of information systems to be studied in real time.

One of the most important characteristics that should ideally be studied in real time, or at the very least predicted for the given information system, is its functional stability. Many indicators developed to mathematically formalize functional stability assume the absence of dynamic changes in the structure of the information system in question, thus limiting their applicability to assessing functional stability only at a specific moment in time. This issue is particularly common with structural indicators due to their specific mathematical formulation. Therefore, there is a need to develop certain generalizations of these indicators that would allow for the prediction of changes in their values over time.

One of the functional stability indicators of information systems that can be relatively easily generalized to account for changes over time is the so-called probability of connectivity. The idea behind this indicator is to calculate the probability of information transmission between a selected pair of machines. This paper attempts to make a generalization that would allow the probability of connectivity to be considered as a function of time, and as a result, predict how this probability will change over time. Additionally, certain properties of the introduced parameters that arise from this generalization are explored, and an estimate of their maximum value is established based on the duration of the information system's operation.

Keywords: Functional stability, information systems, architecture, indicator, probability, data transmission, dynamics.

Вступ. Питання прогнозування функціональної стійкості інформаційних системи з плином часу є досить актуальною задачею, особливо, в наш час, коли інформаційні системи мають все більші розміри, а

необхідність в їх експлуатації росте у все більшій кількості сфер людської діяльності. Однак, головною проблемою є те, що математичний апарат для узагальнення розроблених на даний момент показників функціональної стійкості на випадок динамічної зміни інформаційних систем є малорозвиненим, що ускладнює, а то й унеможлиблює екстраполяцію оцінок функціональної стійкості на подальший час експлуатації системи. В результаті, ми маємо необхідність в розробці такого апарату.

Одним із показників функціональної стійкості, який відносно легко представити як функцію від часу, є так звана ймовірність зв'язності R_{ij} . Даний показник вказує та ймовірність передачі інформації між машинами v_i та v_j . Однак, в ряді джерел даний показник описаний та досліджується для випадку статичної структури з незмінними характеристиками, що в реальності дуже мало ймовірно. В даній роботі проводиться спроба узагальнити даний показник функціональної стійкості таким чином, щоб з однієї сторони можна було прогнозувати його значення в часі, а також корегувати певні характеристики інформаційної системи з другої.

Огляд літератури. Показники та критерії функціональної стійкості є темою досліджень багатьох учених на протязі немалого проміжку часу. Так, наприклад, в [1] проведено огляд ряду тем, які стосуються того, що вважається функціональною стійкістю та які підходи вже існують. Такого роду огляд, але більш у вузькому ракурсі проводився й в інших роботах, таких як [2, 3]. В ряді інших робіт розглядаються методи застосування тих чи інших показників функціональної стійкості. Так, наприклад, в [4] описано їх застосування до аналізу інформаційно-комунікаційних мереж, а в [5, 6] – до проектування. В деяких роботах, як от в [7], ведеться огляд застосування вже конкретних показників функціональної стійкості до тих чи інших задач. Тим часом, наприклад, в [8, 9] ведуться спроби визначити показники функціональної стійкості, відмінні від описаних раніше, за рахунок врахування специфіки самих інформаційних систем. Зокрема, інтерес до функціональної стійкості спостерігається і в таких напрямках досліджень як робота безпілотних пристроїв [10]. Деякі ж роботи, що стосуються функціональної стійкості, сконцентровані не так на прикладне застосування тих чи інших показників функціональної стійкості, як на вивчення їх фундаментальних властивостей. Так, наприклад, в [11, 12] досліджені деякі методи наближеного обчислення такого показника функціональної стійкості, як ймовірність зв'язності, а в [13] описуються вже концептуальні тонкощі застосування розроблених показників функціональної стійкості.

Попри таке різноманіття досліджень в межах функціональної стійкості та методів її математичного опису, досить мало уваги приділяється тому, як прослідкувати зміну функціональної стійкості чи певних її показників у часі. Саме тому в даній роботі проводиться спроба видозміну ймовірності зв'язності таким чином, щоб можна було прослідкувати, як цей параметр буде мінятися під час експлуатації.

Динаміка зміни ймовірнісного показника функціональної стійкості

Нехай структура інформаційної системи моделюється неорієнтованим графом $G = G(V, L)$, де $V = \{v_i\}_{i=1}^n$ – множина вершин цього графа, кожна з яких відповідає конкретній машині, і $L = \{l_i\}_{i=1}^m$ – множина ребер, кожне з яких відповідає лінії зв'язку, проведеній між парою машин. Покладемо, що система експлуатується на протязі часу T , а машини достатньо надійні, щоб на проміжку часу $[0, T]$ ймовірність їх справності вважати рівною 1. Нехай лінія зв'язку l_i справна з ймовірністю p_i . Знайдемо, як змінюватиметься величина p_i в проміжку часу $[0, T]$.

Нехай p_i є функцією від часу, тобто $p_i = p_i(t)$. Вважатимемо, що дана функція є розв'язком задачі Коші

$$\frac{dp_i}{dt} = -K_i c_i(t) p_i, \quad p_i(0) = \bar{p}_i. \quad (1)$$

де $K_i > 0$ – коефіцієнт, який показує швидкість «старіння» лінії зв'язку, $c_i = c_i(t) \geq 0$ – функція, що описує певний (часто, випадковий) вплив (трафік, негативне випромінювання, тощо) на лінію зв'язку l_i в момент часу t .

Розв'яжемо диференціальне рівняння в (1).

$$\begin{aligned} \frac{dp_i}{dt} &= -K_i c_i(t) p_i, \\ \frac{dp_i}{p_i} &= -K_i c_i(t) dt, \\ \int \frac{dp_i}{p_i} &= - \int K_i c_i(t) dt, \\ \ln p_i &= -K_i \int c_i(t) dt + \ln C, \\ \sum_{j=1}^n x_i^j &= N \end{aligned} \quad (2)$$

Врахувавши початкову умову в (1), матимемо

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N c_i x_i^j &\leq C y_j, \quad j = 1, \dots, n \\ \min \sum_{j=1}^n y_j & \end{aligned}$$

Звідси маємо, що

$$p_i(t) = \bar{p}_i e^{K_i(\int_{t=0}^t c_i(t) dt - \int c_i(t) dt)}. \quad (3)$$

Права частина формули (3) і є розв'язком задачі Коші (1), але оскільки величина $p_i(t)$ – це ймовірність, а тому знаходиться в проміжку від нуля до одиниці, то (3) є сенс переписати наступним чином

$$P_i(t) = \min(1, \bar{p}_i e^{K_i(\int_{t=0}^t c_i(t) dt - \int c_i(t) dt)}). \quad (4)$$

Формула (4) і встановлює залежність ймовірності справності лінії зв'язку l_i .

Тепер, якщо ми будемо використовувати (4) для обчислення ймовірності зв'язності χ^j то зможемо, наприклад, обчислювати ймовірність передачі інформації між машинами c_i та v_j .

Приклади використання отриманих результатів.

Розглянемо приклад використання формули (4) при дослідженні зміни ймовірності зв'язності в часі. Так, наприклад, нехай є певні інформаційна система, структуру якої можна представити графом, який зображений на рис. 1.

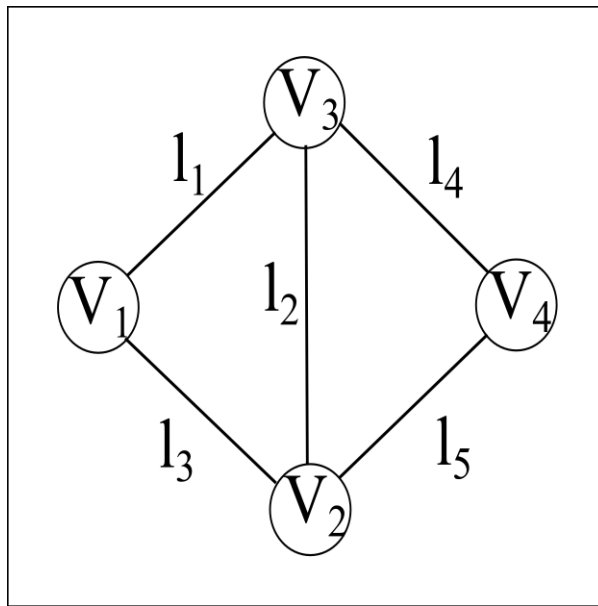


Рис. 1. Приклад структури інформаційної системи

Для простоти вважатимемо, що $\forall i = 1, 2, \dots, 5: \bar{p}_i = 1$. Нехай також $\forall i = 1, 2, \dots, 5: c_i(y) = \cos 20\pi t \sin 100\pi t + 1, 1$. Вважатимемо, що в межах задачі нас цікавить динаміка ймовірності зв'язності R_{14} . Тоді при різних значеннях параметрів K_i ця ймовірність зв'язності вестиме себе так, як показано на рис. 2.

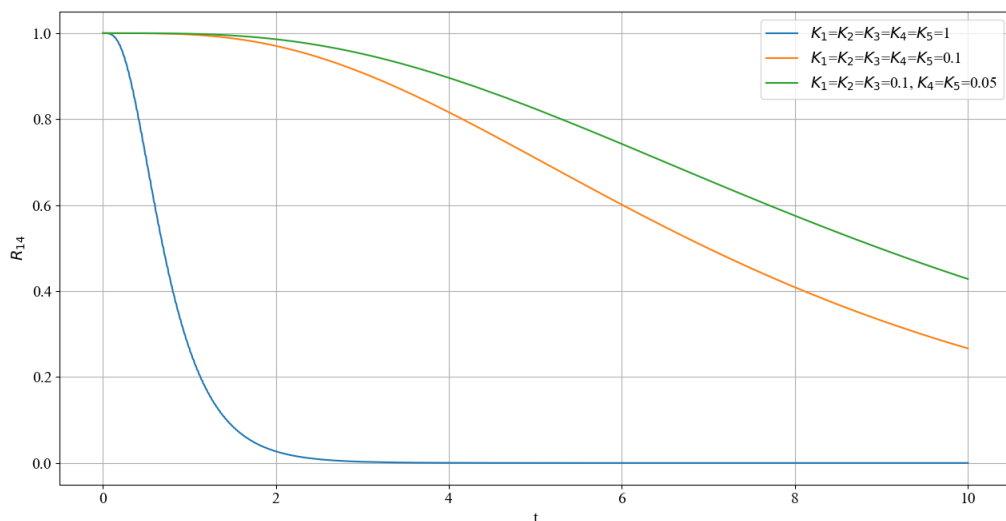


Рис. 2. Зміна параметру R_{14} з часом при різних значеннях параметрів K_i

З рис. 2 неважко побачити, наскільки сильно впливають значення параметрів K_i на ймовірність передачі інформації між машинами v_1 та v_4 . Навіть, невелика різниця в деяких із цих значень в довгостроковій перспективі кардинально збільшує або зменшує ймовірність зв'язності. Це чітко вказує на те, що у випадку довгострокової експлуатації має сенс використання високонадійних ліній зв'язку, і чим довшою планується експлуатація інформаційної системи, тим вище значимість цього фактору.

З другої сторони, використовуючи (4), можна досліджувати максимально допустиме значення параметрів K_i таке, щоб ймовірність передачі інформації між вибраними машинами була не нижче заданого порогу α на протязі певного проміжку часу T . Так, наприклад, у вище розглянутому прикладі інформаційної системи за вказаних умов максимально допустиме значення параметрів залежно від часу експлуатації T при заданому пороговому значенні α можна зобразити так, як показано на рис. 3.

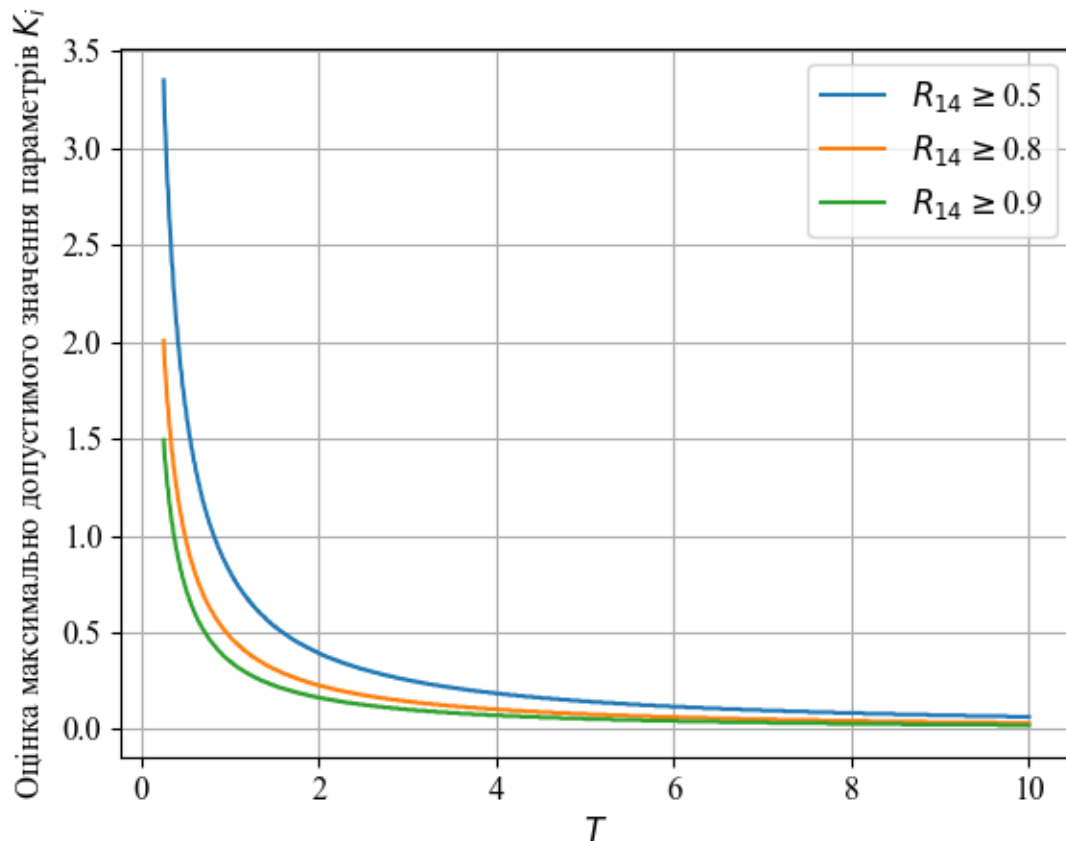


Рис. 3. Оцінка максимально допустимого значення параметрів K_i залежно від часу експлуатації для випадку $R_{14} \geq \alpha$

На основі рис. 3 можна припустити, що у випадку розглянутої вище інформаційної системи за описаних умов значення кожного з параметрів K_i не повинне перевищувати певної сталої, діленої на певний степінь тривалості експлуатації, причому це число та степінь тривалості, швидше за все, будуть змінюватися залежно від заданого порогового значення ймовірності зв'язності. Це означає, що, знаючи тривалість експлуатації розглядуваної інформаційної системи та мінімально необхідний поріг значень ймовірності зв'язності R_{ij} , можна оцінювати й параметри K_i або, другими словами, швидкість «старіння» кожної з ліній зв'язку.

Висновки

В даній роботі описано спосіб представлення ймовірності зв'язності R_{ij} як функції від часу. За рахунок введення коефіцієнтів «старіння» елементів та функцій впливу на ці елементи було отримано спосіб обчислення ймовірності справності кожного з елементів як функції від часу, чого, в результаті, достатньо для подальшого розгляду й ймовірності зв'язності як показника функціональної стійкості, змінного в часі.

На конкретному прикладі було показано застосування даного способу та його подальше застосування. Зокрема, продемонстровано залежність параметрів, що характеризують швидкість старіння ліній зв'язку, від часу експлуатації розглядуваної системи. Дані результати мають більш широке застосування в плані порівняння можливих структур інформаційних систем, що робить це їх більш потужним інструментом, аніж раніше розроблені показники функціональної стійкості.

Література

1. Барабаш О.В. (2004) Побудова функціонально стійких розподілених інформаційних систем. К.: НАОУ. 226.
2. Саланда І. П., Барабаш О. В., Мусієнко А. П. (2017) Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж. *Системи* 126

управління, навігації та зв'язку. 41 (1). 122–126.

3. Гук О.М., Пермяков О.Ю., Нестеров О.М., Уварова Т.В. (2020) Аналіз існуючих підходів щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем військового призначення. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 39(3). 39–44.

4. Смірнова Т.В. (2022) Метод забезпечення надійності підключення вузлів до інформаційно-комунікаційної системи підприємства на базі 5G. *Сучасні інформаційні системи*. 6 (2). 82–87.

5. Собчук В.В., Лаптев О.А., Саланда І.П., Сачук Ю.В. (2019) Математична модель структури інформаційної мережі на основі нестационарної ієрархічної та стаціонарної гіпермережі. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 64. 124–132.

6. Барабаш О.В., Пашков Д.П., Горський О.М. (2016) Інформаційний підхід до забезпечення функціональної стійкості складних організаційних ерготехнічних систем. *Системи обробки інформації*. 9 (146). 86–89.

7. Барабаш О.В., Макарчук А.В., Саланда І.П. (2024) Дослідження ймовірнісного показника функціональної стійкості розподілених інформаційних систем. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 1. 45 – 50.

8. Березовська Ю. В. (2020) Забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи при обмеженій вихідній інформації про визначальні випадкові величини. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2020. 69(4). 69–78.

9. Машков О.А., Самчишин О.В. (2010) Концептуальні основи синтезу функціональної стійкості системи радіомоніторингу (інформаційні аспекти). Моделювання та інформаційні технології: *Зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 56. 136–145.

10. 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. 52–56.

11. Барабаш О. В., Обідін Д. М., Саланда І. П., Макарчук А. В. (2024) Порівняльний аналіз наближення ймовірнісного показника функціональної стійкості за допомогою поліномів Бернштейна та нейронних сіток прямого розповсюдження. *Зв'язок*. 3 32–37.

12. Барабаш О., Мусієнко А., Макарчук А. (2023) Порівняльний аналіз методів визначення показників функціональної стійкості інформаційних систем на прикладі повного перебору та методу Литвака-Ушакова. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 4. 57–63.

13. Миронюк М. Ю., Майстров О. О., Мусієнко А. П., Макарчук А. В. (2024) Аналіз побудови інтелектуальної інформаційної системи на основі поняття функціональної стійкості *Зв'язок*. 1. 3–8.

References

1. Barabash, O.V. (2004). Building Functionally Stable Distributed Information Systems. Kyiv: NAOU. 226.
2. Salanda, I.P., Barabash, O.V., Musienko, A.P. (2017). System of Indicators and Criteria for Formalizing Processes of Ensuring Local Functional Stability of Branched Information Networks. *Control, Navigation, and Communication Systems*, 41(1), 122–126.
3. Huk, O.M., Permyakov, O.Yu., Nesterov, O.M., Uvarova, T.V. (2020). Analysis of Existing Approaches to Assessing the Functional Stability of Heterogeneous Information Systems for Military Purposes. *Modern Information Technologies in the Field of Security and Defense*, 39(3), 39–44.
4. Smirnova, T.V. (2022). Method of Ensuring the Reliability of Node Connection to the Enterprise Information and Communication System Based on 5G. *Modern Information Systems*, 6(2), 82–87.
5. Sobchuk, V.V., Laptev, O.A., Salanda, I.P., Sachuk, Yu.V. (2019). Mathematical Model of Information Network Structure Based on Non-stationary Hierarchical and Stationary Hypernetwork. *Collection of Scientific Papers of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko*, 64, 124–132.
6. Barabash, O.V., Pashkov, D.P., Horskyi, O.M. (2016). Information Approach to Ensuring the Functional Stability of Complex Organizational Ergo-technical Systems. *Information Processing Systems*, 9(146), 86–89.
7. Barabash, O.V., Makarchuk, A.V., Salanda, I.P. (2024). Investigation of the Probabilistic Indicator of Functional Stability of Distributed Information Systems. *Measuring and Computing Equipment in Technological Processes*, 1, 45–50.
8. Berezovska, Yu.V. (2020). Ensuring Functional Stability of Information System with Limited Initial Information on Determining Random Variables. *Telecommunications and Information Technology*, 69(4), 69–78.
9. Mashkov, O.A., Samchyshyn, O.V. (2010). Conceptual Foundations of Synthesis of Functional Stability of Radio Monitoring System (Information Aspects). *Modeling and Information Technologies: Collection of Scientific Papers of the I.P.Mechnikov Institute of Physical and Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 56, 136–145.
10. Kalashnyk, H.A., Obidin, D.M., Kalashnyk, M.A. (2016). Ensuring Stable Functioning of Aircraft Navigation Tools Under the Influence of External Destabilizing Factors. *Information Processing Systems*, 140(3), 52–56.
11. Barabash, O.V., Obidin, D.M., Salanda, I.P., Makarchuk, A.V. (2024). Comparative Analysis of the Approximation of the Probabilistic Indicator of Functional Stability Using Bernstein Polynomials and Feedforward Neural Networks. *Communication*, 3, 32–37.
12. Barabash, O., Musienko, A., Makarchuk, A. (2023). Comparative Analysis of Methods for Determining Functional Stability Indicators of Information Systems on the Example of Full Enumeration and the Litvak-Ushakov Method. *Measuring and Computing Equipment in Technological Processes*, 4, 57–63.
13. Mironyuk, M.Yu., Maistrov, O.O., Musienko, A.P., Makarchuk, A.V. (2024). Analysis of Building an Intelligent Information System Based on the Concept of Functional Stability. *Communication*, 1, 3–8.