

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-79-22>

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](mailto:bar64@ukr.net)

МАКАРЧУК Андрій

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

<https://orcid.org/0000-0002-6422-7488>

[makarchukandriy1999@gmail.com](mailto:makarchukandriy1999@gmail.com)

## НОВИЙ МЕТОД ДЕШИФРУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ІНТЕРВАЛЬНИХ ОЦІНОК

*Активний розвиток обчислювальних систем та, як наслідок, збільшення сфер їх застосування ставить перед науково-технічним прогресом ряд нових задач, однією з найважливіших з яких є організація діагностування систем. Оскільки габарити та складність обчислювальних систем постійно зростає, то логічною є спроба організувати їх діагностування в автономному режимі, при мінімальному, а то й взагалі без участі людини.*

*На даний момент, такий спосіб діагностування можна реалізувати, наприклад, програмно в два етапи: збір діагностичної інформації та її дешифрування. З деякими проблемами можна стикнутися саме на етапі дешифрування, оскільки багато запропонованих на даний момент дешифрування діагностичної інформації вимагають досить багато обчислень. В силу того, що сучасні обчислювальні системи можуть містити дуже велику кількість елементів, об'єм діагностичної інформації може бути досить великим. В наслідок цього застосування деяких існуючих методів дешифрування діагностичної інформації може займати багато часу. Це пов'язано з тим, що, на відміну від збору діагностичної інформації, розроблені на даний момент методи її дешифрування вимагають велику кількість обчислень: деякі з них мають експоненційну складність відносно кількості елементів системи. А даний фактор може бути критичним при розробці, наприклад, великих інформаційних систем чи систем критичної інфраструктури. Це породжує необхідність в розробці нових, більш швидких методів дешифрування.*

*В даній роботі пропонується новий метод дешифрування діагностичної інформації, який є дещо швидшим від багатьох існуючих. Даний факт досягається завдяки поєднанню інтервальних оцінок та розподілу Бернуллі, які не вимагають надмірної кількості обчислень. Також коротко описано особливості даного методу, одна з яких наглядно демонструється на двох конкретних прикладах інформаційних систем.*

*Ключові слова: інформаційні системи, діагностування, самодіагностування, обчислювальна складність, дешифрування діагностичної інформації, програмне забезпечення методів діагностування.*

BARABASH Oleg, MAKARCHUK Andriy

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

## A NEW METHOD OF DIAGNOSTIC INFORMATION DECRYPTION BASED ON INTERVAL ASSESSMENTS

*The active development of computer systems and, as a result, the increase in the scope of their application presents scientific and technical progress with a number of new tasks, one of the most important of which is the organization of system diagnostics. Since the dimensions and complexity of computer systems are constantly growing, it is logical to try to organize their diagnostics in an autonomous mode, with minimal, or even without human intervention.*

*At the moment, such a method of diagnostics can be implemented, for example, by software in two stages: collection of diagnostic information and its decryption. Some problems can be encountered precisely at the decryption stage, since many currently proposed decryption of diagnostic information require quite a lot of calculations. Due to the fact that modern computer systems can contain a very large number of elements, the volume of diagnostic information can be quite large. As a result of this application of some existing methods, diagnostic information decryption can take a long time. This is due to the fact that, in contrast to the collection of diagnostic information, the currently developed methods of its decryption require a large number of calculations: some of them have an exponential complexity relative to the number of system elements. And this factor can be critical when developing, for example, large information systems or critical infrastructure systems. This creates the need to develop new, faster decryption methods.*

*This paper proposes a new method of diagnostic information decryption, which is somewhat faster than many existing ones. This fact is achieved thanks to the combination of interval estimation and the Bernoulli distribution, which do not require an excessive number of calculations. The features of this method are also briefly described, one of which is clearly demonstrated on two specific examples of information systems.*

*Keywords: information systems, diagnostics, self-diagnostics, computational complexity, diagnostic information decryption, diagnostic methods software.*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Під час проектування інформаційних систем іноді виникає необхідність в забезпечення в її автономній роботі. Цей фактор зазвичай породжує ряд додаткових задач, які слід вирішити до введення

системи в експлуатацію. Однією з таких задач є задача самодіагностування, тобто щоб використовувана в подальшому система могла в подальшому виявляти несправність елементів самостійно, без стороннього втручання.

Одним із найпопулярніших методів організації самодіагностування системи є його організація у вигляді взаємоконтролю елементів системи, абстрагуючись від їх внутрішньої структури, яка свого часу була запропонована Препаратом [1, 2]. При такому підході покладається розгляд пар машин системи  $(v_i, v_j)$ , у яких перша машина проводить контроль другої і називається перевіряючою, а друга – тією, що перевіряється. В даній ситуації результатом такого контролю (або, як іноді кажуть, елементарної перевірки) буде число  $r_{ij}$ , яке рівне 0, якщо машини  $v_i$  та  $v_j$  справні, 1 – якщо машина  $v_i$  справна, а  $v_j$  – ні, і або 0, або 1 з однаковою ймовірністю, якщо несправна машина  $v_i$ .

Маючи набір результатів перевірок (який прийнято називати діагностичною інформацією або, іноді, синдромом) одних елементів системи другими можна проводити так званий процес дешифрування цього набору результатів, який полягає в остаточному визначенні того, вважати той чи інший елемент системи справним чи ні. Нині розроблені методи дешифрації синдрому, як от описаний в [3], дозволяють якісно вирішувати дану задачу. Однак, головною їх проблемою є висока обчислювальна складність, особливо, з урахуванням, що елемент  $v_i$  може перевіряти елемент  $v_j$  неодноразово, внаслідок чого в синдромі конкретній парі машин може відповідати не один результат перевірки (0 або 1), а їх набір. На основі цього виникає необхідність розробки нового методу дешифрації діагностичної інформації, можливо, не такого достовірного, але, на протитягу існуючим, швидшого.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Актуальність та, відповідно, інтерес до діагностування систем та її елементів почала зростати зі зростанням застосування обчислювальної техніки. Так, наприклад, в [1, 4] автор описує підходи до діагностування елементів обчислювальних систем. Однак, в [4] акцент робиться на технічній стороні даного питання, а в [1] розглядаються ідеї більш загального характеру, застосовні й до самодіагностування. В [3] автор розширює спектр питань, пов'язаних з самодіагностуванням інформаційних систем, ще й питаннями, що стосуються забезпечення їх функціональної стійкості. Деякі концепції, що описуються в [4], можна зустріти і, наприклад, [5]. Однак, в більшості робіт, що стосуються безпосередньо самодіагностування, часто на етапі збору діагностичної інформації [3] або її дешифрування використовують елементи байєсівського аналізу [3], модульної алгебри [6], теорії динамічних систем [1, 7], тощо.

Коли ми говоримо безпосередньо про методи дешифрації діагностичної інформації, то багато цих методів, розроблених на даний момент, є досить складними в плані кількості обчислень. Так, наприклад, метод, описаний в [3], має експоненційну обчислювальну складність, а алгоритм, описаний в [8] – кубічну. Оскільки зараз розміри реальних обчислювальних та інформаційних систем є досить немалими, то, відповідно, й об'єм діагностичної інформації може бути достатньо великий [9]. В таких випадках результуюча обчислювальна складність може бути небажаною або взагалі неприпустимою, навіть, на фоні обчислювальних потужностей сучасних приладів. Зокрема, значимість обчислювальної складності методів дешифрації може грати важливу роль при проектуванні різних електронних [10] та радіоелектронних [11] пристроїв, де обчислювальні потужності можуть бути невеликими, а використання таких пристроїв може широко використовуватися в самих різних напрямках [12-14]. На основі цього постає проблема в розробці альтернативних, можливо, не таких точних, але, все ж таки, швидших методів дешифрації діагностичної інформації.

### Основна ідея методу самодіагностування.

Нехай структура розглядуваної інформаційної системи представлена у вигляді неорієнтованого графа  $G = G(V, E)$ , де  $V$  – множина вершин графа, що відповідають машинам в системі, а  $E$  – множина ребер, що відповідають лініям зв'язку між цими машинами. В задачі самодіагностування цікавим є орієнтований граф  $\tilde{G}$ , який прийнято називати діагностичним [1].

Нехай машина  $v_i$  перевіряє  $iN$  машин  $v_{k_1}, v_{k_2}, \dots, v_{k_{iN}}$ . З другої сторони, якщо машина  $v_i$  перевіряє машину  $v_j$ , то поставимо у відповідність цій парі машин  $(v_i, v_j)$  множину проведених елементарних перевірок  $\rho_{ij} = \{r_{ij}^1, r_{ij}^2, \dots\}$ . Вважатимемо, що елементарні перевірки проводилися по схемі

Препарата, тобто результат  $k$ -ої перевірки  $j$ -ої машини  $i$ -ою  $r_{ij}^k$  рівний 0, якщо  $i$ -а та  $j$ -а машини справні, рівний 1, якщо  $i$ -а машина, а  $j$ -а машина – ні, або ж 0 чи 1 з однаковою ймовірністю, якщо несправна  $i$ -а машина. Позначимо як  $\bar{\rho}_{ij}$  середні арифметичні відповідних множин елементарних перевірок  $\rho_{ij}$ . Побудувавши довірчий інтервал для кожного середнього  $\bar{\rho}_{ij}$  з рівнем довіри  $\alpha$  [15], поставимо у відповідність парі машин  $(v_i, v_j)$  число  $\omega_{ij}$ , яке рівне 1, якщо число 1 входить в побудований довірчий інтервал для середнього  $\bar{\rho}_{ij}$ , і рівне 0 в протилежному випадку.

Нехай  ${}^+N$  – кількість  $\omega_{ji}$ , рівних одиниці, а  ${}^-N$  – кількість  $\omega_{ji}$ , рівних нулю. Очевидно, що має місце рівність  ${}^+N = {}^+N + {}^-N$ . Тоді, спираючись на розподіл Бернуллі, вважатимемо, що ймовірність несправності машини  $v_i$ , яку позначимо як  $p_i^-$ , буде обчислюватися по формулі

$$p_i^- = C_{iN}^+ \alpha^{+N} (1-\alpha)^{-N}, \quad (1)$$

а ймовірність справності  $p_i^+$ , відповідно, по формулі

$$p_i^+ = 1 - p_i^- = 1 - C_{iN}^+ \alpha^{+N} (1-\alpha)^{-N}. \quad (2)$$

#### Приклади використання описаного методу.

Розглянемо даний метод на прикладі інформаційної системи, яку можна представити наступним графом

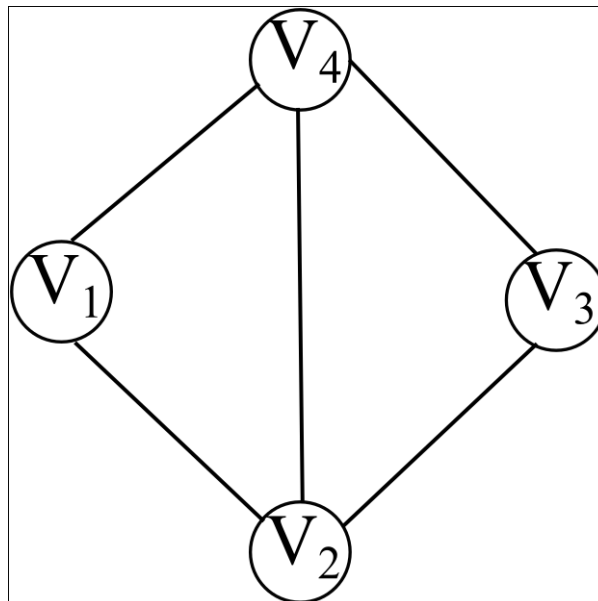


Рис. 1. Структура інформаційної системи, для якої застосовується описаний метод самодіагностування

Вважатимемо, що діагностичний граф даної системи матиме вигляд

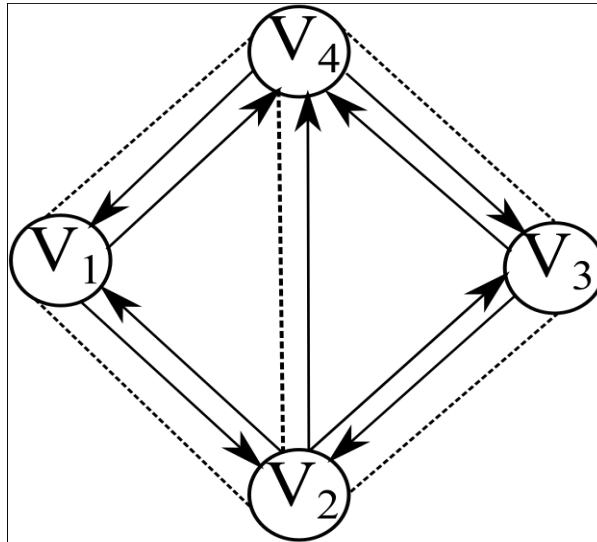


Рис. 2. Діагностичний граф інформаційної системи, представленої на рис. 1

Нехай на момент початку самодіагностування мається діагностична інформація, представлена в таблиці 1.

Таблиця 1.

Діагностична інформація для інформаційної системи, представленої на рис. 1

Множина елементарних перевірок	Набір значень
$\rho_{12}$	0, 0, 0, 1, 0
$\rho_{14}$	1, 0, 1, 1
$\rho_{21}$	1, 0
$\rho_{23}$	1, 1, 0
$\rho_{24}$	0, 1
$\rho_{32}$	1, 0
$\rho_{34}$	0, 1
$\rho_{41}$	0, 0, 1, 0
$\rho_{43}$	1, 0

На основі таблиці 1 обчислимо всі значення  $\omega_{ji}$ . Для кращої наочності побудуємо таблицю, в якій кожен  $i$ -ий рядок відповідає машині, яку діагностують, кожен  $j$ -ий стовбець відповідає машині, яка діагностує. Кожній клітинці, якій відповідає пара вершин  $(v_i, v_j)$ , запишемо значення відповідне цій парі число  $\omega_{ji}$ , якщо  $i$ -а машина перевіряє  $j$ -у, і залишимо незаповненою в протилежному випадку.

Таблиця 2.

Значення  $\omega_{ji}, \forall i, j = 1, 2, 3, 4$  на основі таблиці 1

$i \backslash j$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$
$v_1$	-	0	-	0
$v_2$	0	-	0	0
$v_3$	-	0	-	0
$v_4$	0	-	0	-

Тепер, використовуючи  $i$ -ий рядок та використовуючи описаний вище алгоритм, можна обчислити ймовірність справності машини  $v_i$ . Таким чином, для випадків, коли  $\alpha$  рівне 0,05 та 0,01, отримаємо ймовірності справності всіх машин (див. табл. 3).

Таблиця 3.

**Ймовірність справності машин системи, представленої на рис. 1, за допомогою (2)**

Номер машини	Ймовірність справності при	
	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
1	0,0975	0,02
2	0,905	0,02
3	0,0975	0,02
4	0,142625	0,03

Як видно з результатів, представлених в таблиці 3, при використанні описаного вище методу дешифрації діагностичної інформації, можуть спостерігатися досить різні результати, навіть, при невеликій зміні параметра  $\alpha$ . До найпростіших причин такого явища можна віднести наступні: специфіка довірчих інтервалів як інтервального методу або ж замала кількість діагностичної інформації. У випадку, якщо причиною такої колосальної різниці в результатах є саме специфіка довірчих інтервалів, то описаний вище метод є некоректним, а тому виникає необхідність у його доопрацюванні. Якщо ж проблема в недостатньому об'ємі діагностичної інформації, то це вдасться виявити на прикладі, де її буде більше.

Так, для прикладу, розглянемо систему не з чотирьох, а з шести машин, структуру якої представлено на рис. 3.

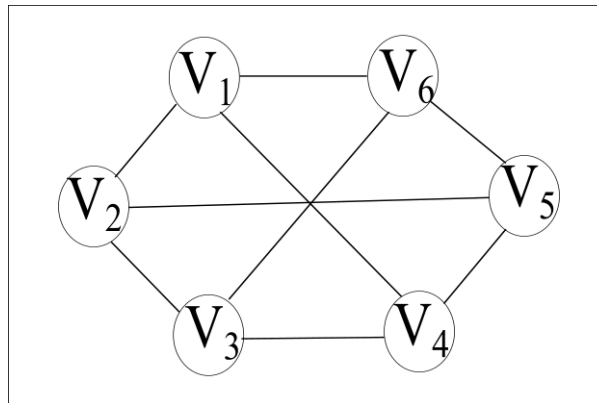


Рис. 3. Приклад структури іншої інформаційної системи, для якої тестується описаний метод самодіагностування

Вважатимемо, що діагностичний граф цієї системи має вигляд, представлений на рис. 4.

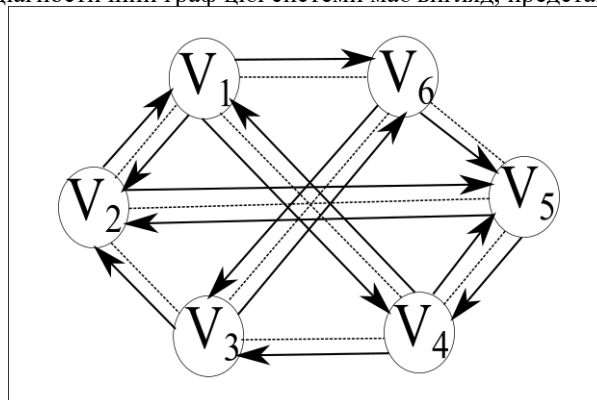


Рис. 4. Діагностичний граф системи, структура якої представлена на рис. 2

Нехай в процесі проведення елементарних перевірок була зібрана діагностична інформація, яку, розбивши на множини  $\rho_{ij}$ , можна представити так, як на таблиці 4.

Таблиця 4.

**Діагностична інформація, отримана перед самодіагностуванням системи на рис. 3**

Множина елементарних перевірок	Набір значень
$\rho_{12}$	0, 0, 1, 0
$\rho_{14}$	1, 0, 0, 0, 1, 0, 0
$\rho_{16}$	0, 0, 1, 0, 0
$\rho_{21}$	0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1
$\rho_{25}$	1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
$\rho_{32}$	1, 1, 1, 0, 1, 1, 1
$\rho_{36}$	0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0
$\rho_{41}$	0, 1, 0
$\rho_{43}$	1, 0, 0, 0, 0, 0, 0
$\rho_{45}$	1, 0, 1, 0, 0, 1
$\rho_{52}$	0, 0, 0, 1, 0
$\rho_{54}$	0, 1, 0, 0, 1, 0, 0
$\rho_{63}$	0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0
$\rho_{65}$	0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1

Провівши обчислення, аналогічні до обчислень в попередньому прикладі, обчислимо ймовірності справності кожної з машин для випадків  $\alpha = 0,05$  та  $\alpha = 0,01$ . Отримані результати представлені в таблиці 5.

Таблиця 5.

**Ймовірності справності машин системи, представленої на рис. 3, за допомогою описаного методу, на основі таблиці 4**

Номер машини	Ймовірність справності при	
	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
1	0,905	0,02
2	0,865	0,03
3	0,9975	0,9999
4	0,9975	0,9999
5	0,993	0,97
6	0,9975	0,98

Отже, як можна бачити з наведених прикладів, для достатньо точного висновку описаний вище метод самодіагностування вимагає достатньо багато діагностичної інформації з однієї сторони та те, щоб кожну з машин діагностувала максимальна кількість інших. В протилежному випадку результуючі ймовірності справності машин в інформаційній системі будуть занадто грубими, що, в свою чергу, може вимагати використання інших методів дешифрації інформаційної інформації.

**Особливості застосування описаного методу.**

Перед використанням того чи іншого методу вирішення поставленої задачі завжди важливо розуміти специфіку цього методу. Якщо ж говорити про описаний вище метод самодіагностування, то варто відмітити наступні його особливості:

- На точність обчислених ймовірностей справності машин впливає об'єм діагностичної інформації. Коли машина  $v_i$  перевіряє машину  $v_j$ , то більша кількість елементарних перевірок останньої забезпечить точніший кінцевий висновок машини  $v_i$  щодо її справності з імовірністю  $1 - \alpha$ .
- Кількість машин, що перевіряють розглядувану, явно впливає на точність обчисленої ймовірності справності. Неважно побачити, що формула (2) явним чином залежить від загальної кількості

машин, що перевіряли розглядувану (параметр  $i^N$ ). Це (в силу математичних особливостей розподілу Бернуллі) гарантує, що збільшення цієї кількості підвищує точність обчислення ймовірності справності машини. Звідси випливає, що чим більша за габаритами інформаційна система, тим більша вірогідність достатньо точно обчисленої ймовірності справності кожної з машин.

• Описаний метод досить швидкий. Описаний вище метод самодіагностування є достатньо швидким: його обчислювальна складність в середньому становить  $O(nV \log n)$ , де  $n$  – це кількість машин в розглядуваній системі,  $V$  – об'єм діагностичної інформації.

### ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

#### І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

В роботі описано новий метод дешифрації діагностичної інформації, який базується на поєднанні теорії статистичних гіпотез та теорії ймовірностей. В процесі дослідження було математично обґрунтовано ідею методу та на кількох конкретних методах показано застосування.

При вивченні описаного методу дешифрації було виявлено його головні переваги та недоліки. Головною перевагою даного методу є його швидкість, яка, на відміну від деяких раніше запропонованих методів, є поліноміальною. Однак, попри швидкість та відносну простоту в реалізації він має й недоліки. Основним недоліком є висока залежність від об'єму діагностичної інформації та розмірів інформаційної системи, що може робити його досить неточним.

#### Література

1. Машков В.А. Самодіагностування бортових обчислювальних систем. Київ : КВВАІУ, 1989. 82 с.
2. Preparata F.P., Metzger G., Chien R.T. On the Connection Assignment Problem of Diagnosable Systems IEEE Transactions on Electronic Computers, EC. 1967. Vol.16, No.6. pp.848–854.
3. Барабаш О.В. Побудова функціонально стійких розподілених інформаційних систем. Київ, 2004, 226 с.
4. Машков В.А. Контроль та діагностування та контроль бортових цифрових обчислювальних пристроїв. Київ : КВВАІУ, 1991. 84 с.
5. 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.
6. Mashkov V.A., Mashkov O.A. Interpretation of diagnosis problem of system level self-diagnosis (2015) Mathematical Modeling and Computing, 2015, Vol. 2, No. 1, pp. 71 – 76.
7. Пічкур В.В., Капустян О.В., Собчук В.В. Теорія динамічних систем. Луцьк. Вежа-Друк, 2020. 348 с.
8. Albin L.C.P., Duarte E.P., Ziwich R.P. A generalized model for distributed comparison-based system-level diagnosis Journal of the Brazilian Computer Society, 2004, Vol. 10, No.3, pp.42–54.
9. Raskin L., Karpenko V., Ivanchykhin Y., Sokolov D. Diagnosis of systems under conditions of small initial data sampling. Advanced Information Systems, 2023. Vol.7, No.3, pp. 39– 43.
10. Вишнівський В.В., Савран В.О. Розробка діагностичної моделі цифрового пристрою для спектрального методу на основі енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення. Наукові записки Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. 2017. Т. 2, № 46. С. 12–17.
11. Вишнівський В.В., Жердев М.К., Креденцер Б.П., Кузавков В.В., Редзюк Є.В. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2013. № 43. С. 17–23.
12. Жердев М.К., Вишнівський В.В., Пампуха І.В., Скуйбіда О.Ю. Напрями розвитку систем контролю технічного стану і діагностування складних технічних систем. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2006. Т. 3. С. 22–25.
13. Глухов С., Сакович Л., Рижов Є., Бабій О., Гальоса А. Перспективні напрями підвищення надійності радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування з використанням інформаційних технологій. Військово-технічний збірник. 2022. № 26, С. 42–48.
14. Вишнівський В.В., Гахович С.В., Катін П.Ю., Круценко В.В. Пристрій для діагностування цифрових ТЕЗ з використанням параметрів енергодинамічного процесу. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. 2003. № 6. С. 71–75.
15. Siegel A.F. Practical business statistics. 4th ed. Washington : Williams, 2000. 800 p.

### References

1. Mashkov V. . Self-diagnosis of on-board computer systems. Kyiv: KVAIU, 1989. 82 p.
2. Preparata F.P., Metzger G., Chien R.T. On the Connection Assignment Problem of Diagnosable Systems (1967) IEEE Transactions on Electronic Computers, EC-Vol.16 No.6, pp.848–854.
3. Barabash O.V. Construction of functionally stable distributed information systems. Kyiv, 2004, 226 p.
4. Mashkov V.A. Control and diagnostics and control of on-board digital computing devices. Kyiv: KVAIU, 1991. 84 p.
5. 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.
6. Mashkov V.A., Mashkov O.A. Interpretation of diagnosis problem of system level self-diagnosis Mathematical Modeling and Computing. 2015. Vol. 2 No. 1, pp. 71 – 76.
7. Pichkur V.V., Kapustyan O.V., Sobchuk V.V. Theory of dynamic systems. Lutsk. Tower-Druk, 2020. 348 p.
8. Albini L.C.P., Duarte E.P., Ziwich R.P. A generalized model for distributed comparison-based system-level diagnosis Journal of the Brazilian Computer Society, 2004, Vol. 10, No.3, pp.42–54.
9. Raskin L., Karpenko V., Ivanchykhin Y., Sokolov D. Diagnosis of systems under conditions of small initial data sampling. Advanced Information Systems, 2023. Vol.7, No.3, pp. 39–43.
10. Vyshnivskiy V.V., Savran V.O. Development of a diagnostic model of a digital device for the spectral method based on energy-dynamic transients in the power bus. Scientific notes of the State University of Information and Communication Technologies. 2017. Vol. 2, No. 46. P. 12–17.
11. Vyshnivskiy V.V., Zherdev M.K., Kredentser B.P., Kuzavkov V.V., Redzyuk E.V. Contactless induction method of diagnosing radioelectronic units. Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University. 2013. No. 43. P. 17–23.
12. Zherdev M.K., Vyshnivskiy V.V., Pampukha I.V., Skuibida O.Yu. Directions of development of technical condition control systems and diagnostics of complex technical systems. Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University. 2006. Vol. 3. P. 22–25.
13. Glukhov S., Sakovich L., Ryzhov E., Babii O., Galiosa A. Prospective directions for increasing the reliability of radio-electronic equipment based on physical diagnostics using information technologies. Military and technical collection. 2022. No. 26, pp. 42–48.
14. Vyshnivskiy V.V., Gakhovich S.V., Katin P.Yu., Krutsenko V.V. The device for diagnosing digital thermal power plants using the parameters of the energy-dynamic process. Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Military special sciences. 2003. No. 6. P. 71–75.
15. Siegel A.F. Practical business statistics. 4th ed. Washington : Williams, 2000. 800 p.