

УДК 519.2

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-15>

### Олена ПОДКОВАЛІХІНА

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Університетська, 64, Запоріжжя, Україна, 69063

ORCID: 0000-0002-2182-1559

**Бібліографічний опис статті:** Подковаліхіна, О. (2024). Дослідження впливу статистичної невизначеності в задачі про надійність приладу. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 120–127, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-15>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТАТИСТИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧІ ПРО НАДІЙНІСТЬ ПРИЛАДУ

Надійність – це властивість приладу виконувати свою функцію, зберігати значення в заданих межах встановлених показників. Показники надійності дозволяють проводити оцінку кількісних характеристик властивостей при виборі різних конструктивних варіантів приладу при їх розробці та випробуваннях. На етапі тестування надійність розраховують як статистичні оцінки ймовірнісних вхідних параметрів. Що, в свою чергу, може призвести до декількох варіантів розв'язків і до необхідності визначення оптимального розв'язку. Тому задача дослідження впливу статистичної невизначеності на оптимальний розв'язок задачі надійності приладу є актуальною.

В роботі розглянуто задачу дослідження надійності приладу зі статистичними вхідними параметрами: параметри підпорядковуються рівномірному закону розподілу з трьома варіантами відхилень від детермінованих значень. Розроблено програмну реалізацію знаходження рішень методом перебору в середовищі MATLAB. Запропоновано різні варіанти критеріїв оптимальності. Проведено дослідження впливу статистичної невизначеності на максимальну надійність приладу для трьох критеріїв.

**Мета роботи** – дослідження впливу статистичної невизначеності і розроблення програмного забезпечення для розв'язання задачі надійності приладу в умовах статистичної невизначеності.

**Методологія** рішення полягає у поєднанні методів динамічного програмування, методів статистичних досліджень та методів багатокритеріальної оптимізації.

**Наукова новизна:** розроблення підходу знаходження оптимального розв'язку задачі з випадковими вхідними параметрами; розроблення відповідного застосування, який знаходить оптимальні розв'язки; дослідження впливу статистичної невизначеності на оптимальне рішення задачі.

**Висновки.** Описаний процес моделювання впливу невизначеності на оптимальний розв'язок задачі про надійність пристрою можна застосовувати на практиці для пошуку та аналізу оптимального розв'язку класу стохастичних задач оптимального планування.

**Ключові слова:** задача надійності приладу, статистична невизначеність, оптимальний розв'язок, критерії оптимальності, комп'ютерне моделювання.

### Olena PODKOVALIHINA

Candidate of Physics and Mathematics Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of System Analysis and Computational Mathematics, National University «Zaporizhzhia Polytechnic», 64, University Str., Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, [epodkovalihina@gmail.com](mailto:epodkovalihina@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-2182-1559

**To site this article:** Podkovalihina, O. (2024). Doslidzhennia vplyvu statystychnoi nevyznachenosti v zadachi pro nadiinist prykladu [Research of the influence of statistical uncertainty in the reliability problem of device]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 120–127, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-15>

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STATISTICAL UNCERTAINTY IN THE RELIABILITY PROBLEM OF DEVICE

Reliability is a property of the device to perform its function, to keep values within the specified limits of the established indicators. Reliability indicators make it possible to evaluate the quantitative characteristics of the properties when choosing different constructive options of the device during their development and testing. At the testing stage, reliability is calculated as statistical estimates of probabilistic input parameters. Which, in turn,

can lead to several solutions and to the need to determine the optimal solution. Therefore, the task of researching the influence of statistical uncertainty on the optimal solution of the problem of device reliability is relevant.

The work considers the problem of researching the reliability of the device with statistical input parameters: the parameters are subject to a uniform distribution law with three variants of deviations from deterministic values. The software implementation of finding solutions by the method of sorting in the MATLAB environment has been developed. Different variants of optimality criteria are proposed. A study of the influence of statistical uncertainty on the maximum reliability of the device for three criteria was carried out.

**The purpose** of the work is to study the impact of statistical uncertainty and develop software to solve the problem of device reliability under conditions of statistical uncertainty.

**The solution methodology** is a combination of dynamic programming methods, statistical research methods, and multi-criteria optimization methods.

**Scientific innovation:** development of an approach to finding the optimal solution to a problem with random input parameters; development of a suitable application that finds optimal solutions; study of the influence of statistical uncertainty on the optimal solution of the problem.

**Conclusions.** The described process of modeling the impact of uncertainty on the optimal solution of the device reliability problem can be applied in practice to find and analyze the optimal solution of a class of stochastic optimal planning problems.

**Key words:** device reliability problem, statistical uncertainty, optimal solution, optimality criteria, computer modeling.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій та актуальність проблеми.** Надійність – це здатність приладу виконувати свої функції протягом необхідного часу та з необхідною якістю. Чисельно надійність оцінюють, як ймовірність приладу виконувати свою задану функцію в визначений момент часу. Ймовірність підпорядковується певному закону  $P$ . На етапі планування приладу важливо враховувати фактори, що впливають на надійність: тип матеріалів, механічна і теплова напруженість елементів приладу, резервування найважливіших чи найменш надійних елементів приладу тощо. Задачу дослідження надійності функціонування технічних приладів розглянуто в багатьох роботах.

В роботі (Бушма, Турукало, 2021, 43–60) досліджено принципи побудови засобів відображення даних у системах та способи збільшення надійності передачі інформації. Визначено найбільш надійні та ергономічні елементи індикації. Проведено аналіз схем керування елементами для підвищення надійності приладів. Проаналізовано наявну базу індикаторів для побудови надійних приладів. Визначено найкращий комплекс технічних та надійнісних характеристик систем.

В роботі (Глухов, Бабій, Семеха, Савченко, Гальоса, 2022, 88-95) розроблено діагностичний модуль для проведення діагностування надійності цифрових засобів вимірювальної техніки. Розроблена структурна схема модуля та наведені результати розрахунків значень достовірності при застосуванні методів діагностування. Практичне застосування розробленого модуля доцільне при проведенні поточного ремонту та перевірки засобів вимірювальної техніки.

В роботі (Lanetskii, Lukyanchuk, Khudov, Fisun, Zvieriev, Terebuha, 2020, 55–65) досліджено задачу постановки вимог до надійності складних технічних систем різного призначення. Розроблено аналітичну модель надійності таких систем, що описує процеси функціонування системи в інтервалах очікування та використання. Тривалість інтервалів очікування та/або виконання запиту є випадковими величинами. Коефіцієнти цього показника отримано для трьох варіантів завдання функцій розподілу тривалості очікування у включеному стані та виконання заявки на використання. Розроблена модель дозволяє встановити вимоги до надійності систем із складним режимом роботи. Отримано результати моделювання залежностей показників надійності від параметрів функцій розподілу тривалостей очікування та виконання запиту.

В статті (Lukianchuk, Lanetskii, Khudov, Terebuha, Zvieriev, Shknai, Zapara, Petruk, Dyptan, Piavchuk, 2021, 27–39) розроблено експериментально-розрахункову методику, що являє собою сукупність моделей зміни показників надійності радіотехнічного комплексу в залежності від тривалості експлуатації та аналітичних моделей оцінки показників залишкового ресурсу. Розроблена методика може бути використана для оцінки показників залишкового ресурсу з прийнятною точністю та достовірністю.

В роботі (Ланецький, Коваль, Попов, Гриневич, 2020, 59-64) запропоновано метод оцінки показників залишкової збереженості обладнання ЗКР. Особливість методу полягає в тому, що можливість застосування методу статистики оцінюється за допомогою порівняння точності оцінок показників. Отримано оцінки середнього

терміну служби ЗКР для п'яти варіантів вхідних даних. Запропонований метод є більш ефективним для оцінювання терміну служби ЗКР, ніж інші непараметричні методи.

В роботі (Колісник, Кучанський, 2020, 120-126) досліджено надійність функціонування системи автоматичних обліків електричної енергії в енергосистемі України. Розглянуто структуру локального рівня (компоненту АСОЕ), що має великий відсоток впливу на надійність функціонування системи в цілому. Виявлено ланки АСОЕ, в яких існує проблема надійності. Рекомендовано методи для підвищення надійності роботи АСОЕ.

Важливою передумовою вирішення надійності судових систем є забезпечення надійності судових технічних засобів. В роботі (Корякін, 2023, 144-154) досліджено методи оцінки надійності навігаційних систем та способи прогнозування надійності. Розглянуто імовірно-фізичні моделі надійності, проведено їх порівняльний аналіз. Запропоновано технічні рішення та рекомендації шляхом резервування (дублювання) агрегатів.

Актуальною є задача забезпечення для сільського господарства надійного електроживлення. В роботі (Добровольська, Собчук, 2023, 38-44) досліджено задачу підвищення надійності автономних систем електропостачання. Автономні системи забезпечують функціонування автоматизованих систем у процесах, де у разі припинення електроживлення виникають загрози життю людей та тварин. Було досліджено можливості забезпечення балансу потужності в енергосистемі. Доведено, що використання традиційних та поновлюваних джерел енергії сумісно є ефективним для сільського господарства.

Важливою та актуальною задачею є продовження життєвого терміну та реконструкції будівель. Розв'язання цієї задачі потребує дослідження наявного стану матеріалів в елементах споруд. В роботі (Серіков, Назаренко, 2022, 21-27) проведено системний аналіз вимірювального процесу дослідження характеристик матеріалів у виробничих умовах. Запропоновано технічне рішення забезпечення високої надійності вимірювань і достовірність результатів.

В роботі (Альховик, 2021, 1-6) проведено аналіз сфер застосування електронних твердовимірів для підвищення надійності спецтехніки. Розглянуто методи визначення показників властивостей матеріалів, від яких залежить надійність. Визначено, що необхідно проведення контролю характеристик елементів виробів

з застосуванням динамічних, ультразвукових та комбінованих електронних твердомірів.

Робота (Білик, Диня, 2021, 15-19) присвячена дослідженню аналітичних залежностей для визначення параметрів навісної коренезбиральної машини для фермерських господарств. Розроблені надійні основи очищення коренеплодів очисними мітлами, що є актуальним питанням для виробництва цукрових буряків.

В електронних приладах значення вхідних параметрів для багатьох систем є незалежними випадковими величинами. Розроблення методики знаходження оптимальних розв'язків таких систем та дослідження впливу статистичної невизначеності на рішення задачі про надійність приладу є актуальною (Бут, Подковаліхіна, 2019, 43-44).

**Мета дослідження, постановка задачі та результати дослідження.** Мета роботи – дослідження впливу статистичної невизначеності і розроблення програмного забезпечення для розв'язання задачі надійності приладу в умовах статистичної невизначеності. Розглянемо задачу в наступній постановці. Технічний прилад складається з  $j$  основних компонентів, що з'єднані послідовно. Відмова однієї компоненти призводить до відмови всього приладу. Кожна компонента може складатися з різної кількості блоків, що впливає на надійність самої компоненти та всього приладу. Кожна компонента  $j$ , що складається з  $x_i$  блоків, характеризується вартістю  $C_{ij}$  та надійністю  $R_{ij}$ . Загальна вартість приладу не повинна перевищувати у грошових одиниць. Потрібно сконструювати технічний прилад з максимальною надійністю, не перевищуючи загальної вартості приладу у од.

Математична постановка задачі про надійність має наступний вигляд:

$$F = \prod_{j=1}^n F_j \rightarrow \max$$

$$F_j = \max R_{ij},$$

$$\sum_{j=1}^n C_{ij} \leq y,$$

$$x_j \geq 1 - \text{цілі числа}, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m},$$

$y$  – загальна вартість,

$n$  – кількість компонентів,

$m$  – максимальна кількість блоків в компоненті,

$C_{ij}$  – вартість  $j$  компоненти, що складається з  $x_i$  блоків,

$R_{ij}$  – надійність  $j$  компоненти, що складається з  $x_i$  блоків,

$F$  – надійність приладу.

Розглянемо наступні вхідні дані:  $y=10, n=3, m=3$ ,  $C_{ij}$  та  $R_{ij}$  наведені в таблиці 1.

Для детермінованого випадку ця задача має один оптимальний план (2,1,3). При цьому буде отримано максимальну надійність 0,504.

Тепер розглянемо статистичні вхідні дані: надійності  $R_{ij}$  підпорядковуються закону безперервного рівномірного розподілу з 10%, 20%, 30% відхиленням від значень, наведених в таблиці 1. Розв'язувати задачу будемо методом перебору. Програмна реалізація виконана в пакеті MATLAB. Вхідні дані:

- матриця вартостей  $C$  ;
- матриця надійностей  $R$  ;
- загальна сума витрат  $y$  .

Вихідні дані:

- план, що не перевищує загальну вартість суми витрат, та забезпечує максимальну надійність приладу;
- відповідне плану значення надійності.

Було проведено 9000 експериментів: 3000 – для випадку 10% відхилення, 3000 – для 20% та 3000 для 30%. Результати експериментів

зображенні на діаграмах (рисунок 1-3) “Ящик з вусами”. На діаграмах відображені:

- мінімальне та максимальне значення надійності для відповідного плану;
- середнє значення надійності для відповідного плану;
- міжквартильний розмах значення надійності для відповідного плану.

Для випадку 10% відхилення отримуємо два плани: (2,1,3), (3,1,2). Для 20% і 30% відхилень отримуємо сім планів: (2,1,3), (3,1,2), (2,3,1), (1,1,3), (2,1,2), (1,2,2), (3,2,1).

**Критерій оптимальності та аналіз результатів.** Для того, щоб обрати план, який буде оптимальним, було розроблено критерії оптимальності. Зауважимо, що при виборі інших критеріїв відповідь може відрізнятись.

Проаналізуємо отримані результати за такими критеріями оптимальності:

- критерій 1: ймовірність отримати план;
- критерій 2: середньоарифметична надійність;
- критерій 3: ймовірність того, що буде отримано надійність вищу 0,5.

Таблиця 1

Вхідні дані

| $x_i$ | $j = 1$ |       | $j = 2$ |       | $j = 3$ |       |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|       | $C_1$   | $R_1$ | $C_2$   | $R_2$ | $C_3$   | $R_3$ |
| 1     | 1       | 0.6   | 3       | 0.7   | 2       | 0.5   |
| 2     | 2       | 0.8   | 5       | 0.8   | 4       | 0.7   |
| 3     | 3       | 0.9   | 6       | 0.9   | 5       | 0.9   |

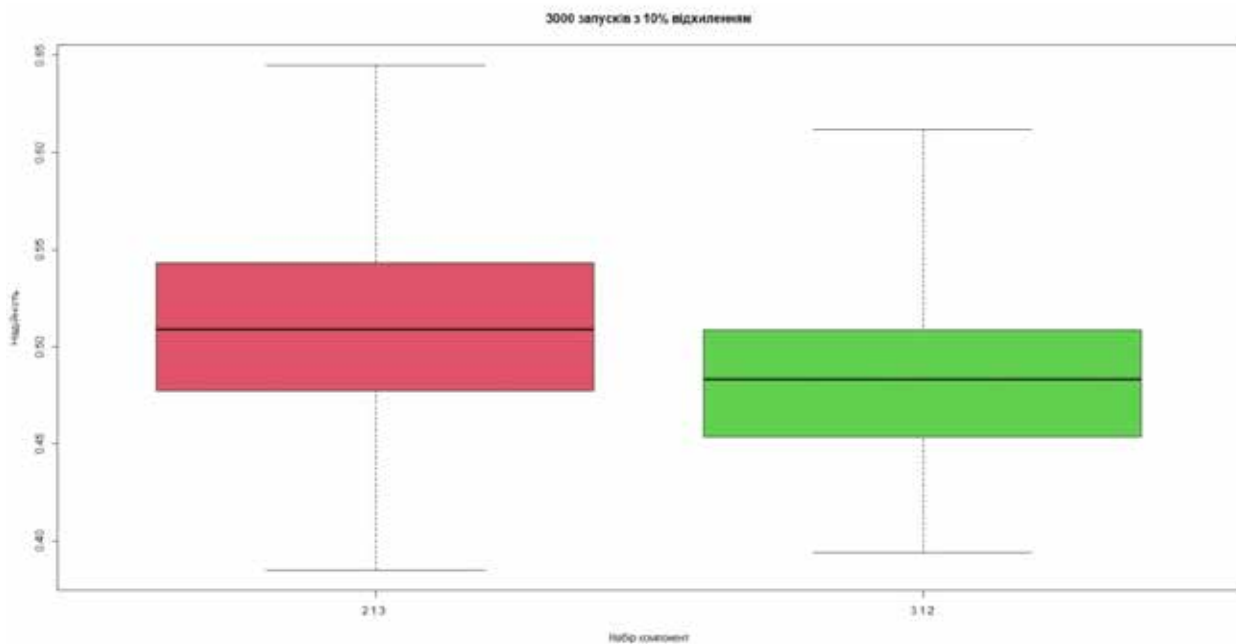


Рис. 1. 10% відхилення

Для 10% відхилення (таблиця 2) за критеріями 1, 2 та 3 оптимальний план дорівнює (2,1,3). Для 20% відхилення (таблиця 3) за критеріями 1, 2 та 3 оптимальний план дорівнює (2,1,3). Для 30% відхилення (таблиця 4) за критеріями 1 та 2 оптимальний план дорівнює (2,1,3). Значить, прилад повинен конструюватися наступним чином: перший блок з двох компонент, другий

блок – з однієї компоненти, третій блок – з трьох компонент. Для 30% відхилення (таблиця 4) за критерієм 3 оптимальний план дорівнює (2,1,2). Значить, прилад повинен складатися наступним чином: перший блок з двох компонент, другий блок – з однієї компоненти, третій блок – з двох компонент. Проте відзначимо, що оптимальні розв'язки, що відповідають іншим

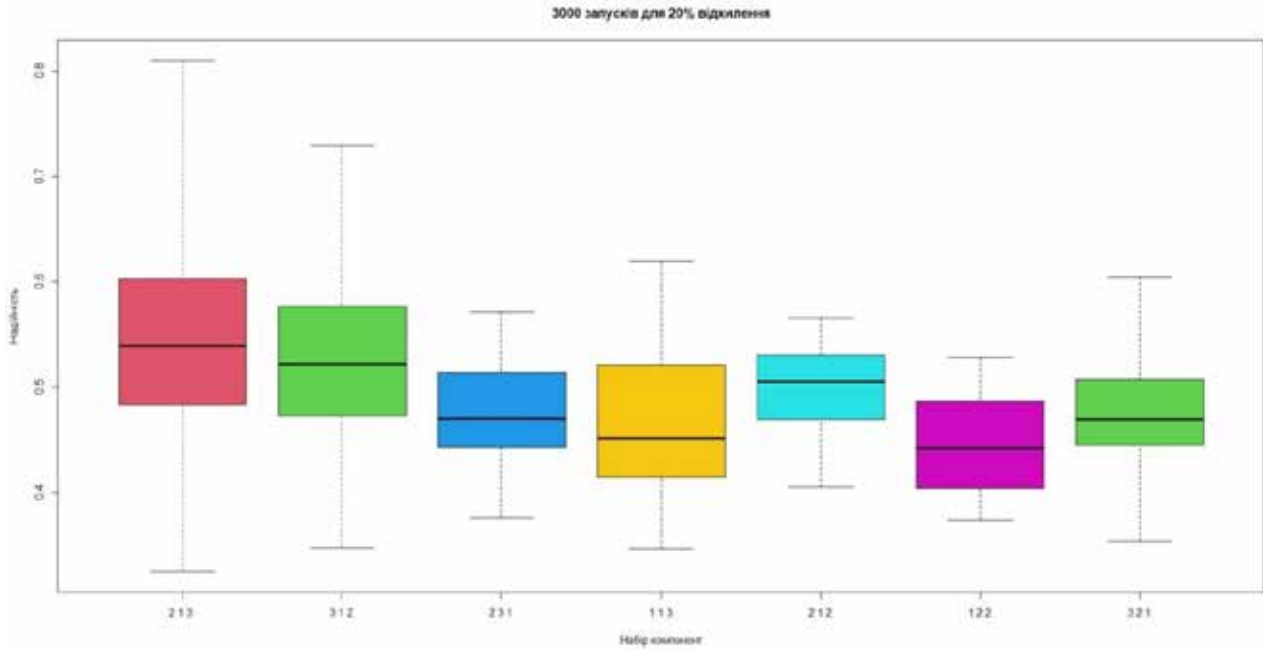


Рис. 2. 20% відхилення

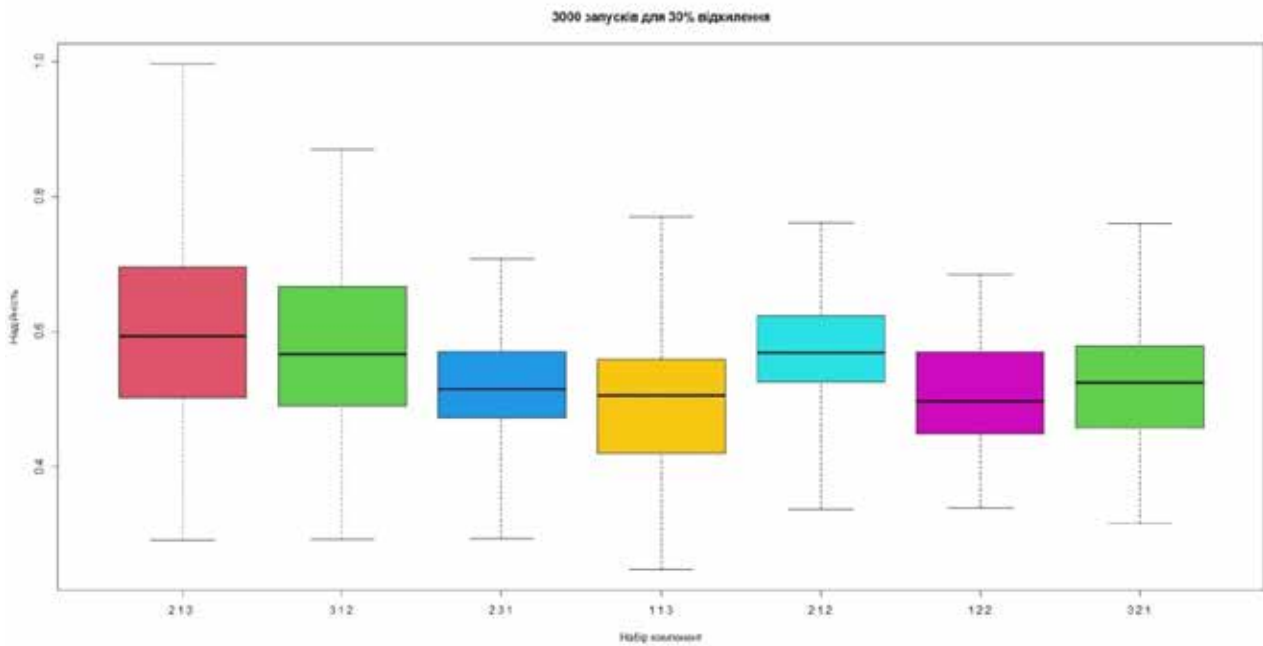


Рис. 3. 30% відхилення

Таблиця 2

**Аналіз результатів для 10% відхилення для 3000 експериментів**

| Критерій                          | Надійність |      |
|-----------------------------------|------------|------|
|                                   | 213        | 312  |
| Ймовірність отримати цей набір, % | 87,5       | 12,5 |
| Середнє арифметичне               | 0,51       | 0,48 |
| Ймовірність отримати > 0,5, %     | 54,6       | 30,1 |

Таблиця 3

**Аналіз результатів для 20% відхилення для 3000 експериментів**

| Критерій                          | Надійність |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | 213        | 312  | 231  | 113  | 212  | 122  | 321  |
| Ймовірність отримати цей набір, % | 62,9       | 22,1 | 3,9  | 1,6  | 1,5  | 2,4  | 5,6  |
| Середнє арифметичне               | 0,54       | 0,52 | 0,48 | 0,47 | 0,50 | 0,45 | 0,47 |
| Ймовірність отримати > 0,5, %     | 67,2       | 59,3 | 29,1 | 32,7 | 60,0 | 22,5 | 30,5 |

Таблиця 4

**Аналіз результатів для 30% відхилення для 3000 експериментів**

| Критерій                          | Надійність |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | 213        | 312  | 231  | 113  | 212  | 122  | 321  |
| Ймовірність отримати цей набір, % | 46,2       | 21,9 | 7,8  | 5,2  | 3,9  | 5,6  | 9,4  |
| Середнє арифметичне               | 0,60       | 0,58 | 0,52 | 0,50 | 0,56 | 0,51 | 0,52 |
| Ймовірність отримати > 0,5, %     | 74,2       | 70,1 | 57,9 | 52,3 | 78,0 | 45,0 | 60,6 |

критеріям, у загальному випадку можуть бути різними.

**Висновки.** Описаний процес моделювання впливу невизначеності на оптимальний

розв'язок задачі про надійність пристрою можна застосовувати на практиці для пошуку та аналізу оптимального розв'язку класу стохастичних задач оптимального планування.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Бушма О. В., Турукало А.В. Багатоелементні шкальні індикаторні пристрої у вбудованих системах. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. Київ. 2021. 3(11). С. 43–60. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.4360>.
2. Глухов С. І., Бабій О. С., Семеха С. М., Савченко Т. В., Гальоса А. О. Діагностичний модуль фізичного діагностування метрологічної надійності цифрових засобів вимірювальної техніки. *Системи озброєння і військова техніка*. Харків. 2022. № 1 (69). С. 88–95. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.69.10>.
3. Lanetskii B., Lukyanchuk V., Khudov H., Fisun M., Zvieriev O., Terebuha I. Developing the model of reliability of a complex technical system of repeated use with a complex operating mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv. 2020. № 5(4(107)). P. 55–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214995>
4. Lukianchuk V., Lanetskii B., Khudov H., Terebuha I., Zvieriev O., Shknai O., Zapara D., Petruk S., Dyptan V., Piavchuk O. Development of an experimental-estimation method for estimating indices of residual life of a radio technical complex. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv. 2021. № 3(9(111)). P. 27–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233538>.
5. Ланецький Б.М., Коваль І.В., Попов В.П., Гриневич В.І. Метод оцінювання показників збережувачності бортового обладнання зенітних керованих ракет при періодичному контролі їх працездатності. *Озброєння та військова техніка*. Київ. 2020. № 2. С. 59–64.
6. Колісник В. С., Кучанський В. В. Проблеми надійності автоматизованих систем обліку електричної енергії (АСОЕ). *Енергетика: економіка, технології, екологія*. Київ. 2020. № 2. С. 120–126.
7. Корякін К. С. Огляд методів оцінки надійності суднових навігаційних приладів та систем. *Водний транспорт*. Київ. 2023. № 1 (37). С. 144–154. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.16>
8. Добровольська Л. Н., Собчук Д. С. Шляхи підвищення надійності електрозабезпечення технологічних процесів у фермерському господарстві. *Перспективні технології та прилади*. Луцьк. 2023. № 22. С. 38–44. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-06>

9. Серіков Я. О., Назаренко Л. А. Підвищення достовірності результатів вимірювання при дослідженні надійності будівельних конструкцій ультразвуковим імпульсним методом у виробничих умовах. *Український метрологічний журнал*. Харків. 2022. № 2. С. 21–27. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.2.2022.263875>

10. Альховик О. В. Застосування електронних твердомірів для підвищення якості та надійності під час виготовлення спецтехніки. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Київ. 2021. № 2. Частина 2. С. 1–6. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/01>

11. Білик С. Г., Диня В. І. Забезпечення надійності технологічного процесу очищення коренеплодів. *Перспективні технології та прилади*. Луцьк. 2021. № 19. С. 15–19. <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2021-19-2>

12. Бут Д. Р., Подковаліхіна О. О. Задача про надійність електронного пристрою в умовах статистичної невизначеності. *Інформаційні технології: теорія і практика*. Запоріжжя. 2019. С. 43–44.

#### REFERENCES:

1. Bushma, O. V. m Turucalo, A. V. (2021). Bahatoelementni shkalni indykatorni prystroi u vbudovanykh systemakh [Multi-element scale indicator devices in embedded systems]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika*. Kyiv. – *Cyber security: education, science, technology*, 3(11), 43–60 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.4360>.

2. Hlukhov. S. I., Babii, O. S., Semekha, S. M., Savchenko, T. V. & Halosa, A. O. (2022). Diahnostychnyi modul fizychnoho diahnostuvannya metrolohichnoi nadiinosti tsyfrovyykh zasobiv vymiriuvanoi tekhniki [Diagnostic module for physical diagnostics of metrological reliability of digital measuring equipment]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – Weapon systems and military equipment*, 1(69), 88–95 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.69.10>.

3. Lanetskii, B., Lukyanchuk, V., Khudov, H., Fisun, M., Zvieriev, O. & Terebuha, I. (2020). Developing the model of reliability of a complex technical system of repeated use with a complex operating mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(4 (107)), 55–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214995>

4. Lukianchuk, V., Lanetskii, B., Khudov, H., Terebuha, I., Zvieriev, O., Shknai, O., Zapara, D., Petruk, S., Dyptan, V., Piavchuk, O. (2021). Development of an experimental-estimation method for estimating indices of residual life of a radio technical complex. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(9(111)), 27–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233538>.

5. Lanetskyi, B. M., Koval, I. V., Popov, V. P. & Hrynevych, V. I. (2020). Metod otsiniuvannya pokaznykiv zberezhuvanosti bortovoho obladnannya zenitnykh kerovanykh raket pry periodychnomu kontroli yikh pratsezdatsnosti [The method of evaluating the indicators of the maintainability of the on-board equipment of anti-aircraft guided missiles during periodic control of their performance]. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika. – Armament and military equipment*, 2, 59–64 [in Ukrainian].

6. Kolisnyk, V. S. & Kuchanskyi, V. V. (2020). Problemy nadiinosti avtomatyzovanykh system obliku elektrychnoi enerhii (ASOE) [Reliability problems of automated electric energy accounting systems (ASOE)]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – Energy: economy, technologies, ecology*, 2, 120–126 [in Ukrainian].

7. Koriakin, K. S. (2023). Ohliad metodiv otsinky nadiinosti sudnovykh navihatsiinykh pryladiv ta system [Review of methods for assessing the reliability of ship navigation devices and systems]. *Vodnyi transport. – Water transport*, 1(37), 144–154 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.16>

8. Dobrovolska, L. N. & Sobchuk, D. S. (2023). Shliakhy pidvyshchennia nadiinosti elektrozabezpechennia tekhnolohichnykh protsesiv u fermerskomu hospodarstvi [Ways of increasing the reliability of power supply of technological processes in farming]. *Perspektyvni tekhnolohii ta prylady. – Perspective technologies and devices*, 22, 38–44 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-06>

9. Sierikov, Ya. O. & Nazarenko L. A. (2022). Pidvyshchennia dostovirnosti rezultativ vymiriuvannya pry doslidzhenni nadiinosti budivelnykh konstruksii ultrazvukovym impulsnym metodom u vyrobnychykh umovakh [Increasing the reliability of measurement results when investigating the reliability of building structures using the ultrasonic pulse method in production conditions]. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal. – Ukrainian Metrological Journal*, 2, 21–27 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.2.2022.263875>

10. Alkhovyk, O. V. (2021). Zastosuvannya elektronnykh tverdomiriv dlia pidvyshchennia yakosti ta nadiinosti pid chas vyhotovlennia spetstekhniki [The use of electronic hardness testers to improve quality and reliability during the production of special equipment]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni*

V.I. Vernadskoho. – *Scientific notes of V.I. Vernadsky Taurida National University*, 2(2), 1–6 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/01>

11. Bilyk, S. H. & Dynia, V. I. (2021). Zabezpechennia nadiinosti tekhnolohichnoho protsesu ochyshchennia korenoplodiv [Ensuring the reliability of the technological process of root cleaning]. *Perspektyvni tekhnolohii ta prylady –Perspective technologies and devices*, 19, 15–19 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2021-19-2>

12. But, D. R. & Podkovalihina O. O. (2019). Zadacha pro nadiinist elektronnoho prystroiu v umovakh statystychnoi nevyznachenosti [Reliability problem of an electronic device in the conditions of statistical uncertainty]. *Informatsiini tekhnolohii: teoriia i praktyka. – Information technologies: theory and practice*, 43–44 [in Ukrainian].