

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ МУРАШИНИХ КОЛОНІЙ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНІВ БАГАТОФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

*Стаття присвячена вивченню ефективності методу мурашиних колоній у контексті оптимізації планів багатофакторних експериментів. Автори ретельно проаналізували актуальні проблеми, що виникають у процесі оптимізації багатофакторних планів експериментів, проаналізували значну кількість методів оптимізації багатофакторних експериментів та обґрунтували необхідність розробки нових та більш продуктивних підходів для вирішення цих завдань. Основний акцент у статті робиться на методі мурашиних колоній, який вважається потужним та ефективним інструментом для швидкої та результативної оптимізації планів багатофакторних експериментів.*

*Стаття включає детальний опис алгоритму мурашиної колонії, схему його роботи та реалізацію методу мурашиних колоній у вигляді програми, яка написана мовою програмування C++. Автори наводять конкретні приклади застосування алгоритму в різних сферах, таких, як вихрострумний перетворювач, дослідження процесу вимірювання щільності струму гальванічних ван та аналіз ділянки верстатобудівного цеху з числовим програмним управлінням.*

*У статті ретельно розглянуто продуктивність методу мурашиних колоній, зосереджуючись на його ефективності при великій кількості факторів експериментів, особливо при збільшенні кількості чинників та експериментів. Автори проводять аналіз точності результатів та наголошують на важливості ретельного вибору параметрів для досягнення оптимальних результатів досліджень. Завдяки цій статті вчені та практики знайдуть цінний інструмент для оптимізації та покращення результативності багатофакторних експериментів у різних галузях науки та промисловості.*

*Ключові слова: метод мурашиних колоній, дослідження, багатофакторний експеримент, програмне забезпечення, алгоритм, оптимізація, вимірювання.*

**Вступ.** За зростанням вартості ресурсів та товарів, необхідність в оптимізації процесів виробництва стає все більш актуальною[1]. Кожна компанія прагне залишитися конкурентоспроможною, зменшити витрати та виробничу вартість продукції, збільшити продуктивність та ефективність. Це означає максимальну оптимізацію кожного етапу виробництва, починаючи з постановки завдань і закінчуючи випуском готової продукції. Тому питання оптимізації часу та витрат є ключовим в аналізі багатофакторних експериментів для вивчення процесів виробництва.

Це також породжує необхідність у пошуку найбільш ефективного методу оптимізації планів багатофакторних експериментів. Об'єктом нашого дослідження є процес оптимізації планів багатофакторних експериментів з точки зору вартісних та часових витрат. Предметом дослідження є метод мурашиної колонії для оптимізації вартісних та часових витрат планів багатофакторних експериментів та відповідне програмне забезпечення для його виконання. Основною метою нашого дослідження є розробка методу мурашиної колонії та відповідного програмного забезпечення, його впровадження для вивчення технологічних процесів та оцінка його ефективності.

**Аналіз останніх досліджень.** На сучасний момент, існує значна різноманітність методів оптимізації планів багатофакторних експериментів [2 - 7]. Для оптимізації цих планів можна застосовувати методи, описані в роботах [8 - 12]. Кожен із цих методів має свої плюси та мінуси, а також власну специфіку застосування. Більшість методів, які переважають при прагненні знайти матрицю планування, що найкраще наближена до оптимальної, зіштовхуються до проблеми погіршення точності рішення та збільшення обчислювальної потужності та часу, необхідного для обчислення оптимального плану експерименту, коли кількість факторів зростає.

Отже, виникає необхідність розробити метод, який дозволить працювати з більшим числом факторів, отримувати оптимальний план експерименту швидше та з меншими обчислювальними витратами. У цьому контексті розглядається можливість використання методу мурашиного алгоритму.

**Основні матеріали дослідження** У сучасному житті існує необхідність автоматизації та оптимізації планів багатофакторних експериментів [12]. При збільшенні кількості факторів та кількості експериментів більшість методів, які були розроблені раніше, починають давати велику похибку, або якщо брати для прикладу метод повного перебору, то ж час та обчислювальна потужність зростають в геометричній прогресії зі збільшенням кількості факторів. У зв'язку з цим, буде розроблений метод оптимізації мурашиної колонії для оптимізації планів багатофакторних експериментів. Цей метод дозволяє при малій обчислювальній потужності та незначному часі обчислювання отримувати хороші результати.

#### **Алгоритм реалізації методу мурашиної колонії**

Алгоритм методу мурашиної колонії використовується для розв'язання задач оптимізації та може бути реалізований наступними кроками.

#### **Ініціалізація**

Крок 1. Створення мурашиної колонії з кількістю мурах та іншими параметрами (кількість ітерацій, кількість мурах в кожній ітерації).

Крок 2. Розміщення мурах у випадкових позиціях відповідно до задачі.

#### **Цикл ітерацій** Для кожної ітерації (покоління) колонії:

Крок 3. Переміщення мурах. Кожна мураха вибирає наступний крок на основі розрахунку вартості переходу в будь-який рядок матриці. Наступним кроком обирається той рядок, перехід на який має найменшу вартість. На такий перехід наноситься феромон, який дорівнює одиниці, на всі інші варіанти переходу наноситься феромон, який дорівнює 0.

Крок 4. Після виконання переходу, мураха знову проводить розрахунок вартості переходу в кожному наступному рядку, крім тих в яких мураха вже була. Нанесення феромону відбувається за схожим алгоритмом, що і в кроку 3.

Крок 5. Завершення ітерації та оцінка розв'язку. Ітерація вважається завершеною в тому випадку, коли мураха пройшла усі рядки матриці. По завершенню зберігається результат, який показує вартість виконання плану експерименту.

#### **Цикл порівняння**

Крок 6. Вибір кращого розв'язку. Обрання найкращого розв'язку, знайденого протягом усіх ітерацій.

Крок 7. Завершення. Повернення знайденого оптимального шляху або розв'язку.

Схему роботи алгоритму мурашиної колонії зображено на рис.1.

Було розроблено програмне забезпечення, що реалізує метод синтезу оптимальних за вартісними (часовими) витратами планів багатофакторного експерименту методом мурашиного пошуку. Мова програмування – C#. Прорахунки виконувалися на комп'ютері з процесором Intel Core i3- 3110M з частотою 2.40 GHz.

Для розрахунку прикладів будуть використовуватись наступні параметри програми:

- кількість мурах 230;
- кількість ітерацій 500.

**Результати оптимізації** Для прикладу була проведена оптимізація планів багатофакторних експериментів для різних об'єктів.

#### **Приклад 1. Вихрострумний перетворювач**

Для вихрострумного перетворювача було оптимізовано початковий план багатофакторного експерименту, дані зведені у рис. 2. Вирішення було знайдено за 15 секунд.

**Приклад 2. Дослідження процесу вимірювання щільності струму гальванічних ван**

Оптимізацію вихідного плану експерименту при дослідженні процесу вимірювання щільності струму гальванічних ван мірними датчиками проведено за критерієм сумарної вартості проведення. Дані зведені у рис. 3. На розрахунок знадобилося 38 секунд.

### Приклад 3. Дослідження ділянки верстатобудівного цеху з числовим програмним управлінням

В якості критерію оптимізації було обрано загальний час роботи верстатів з числовим програмним управлінням. Час реалізації плану наведено на рис. 4. На вирішення задачі програмі знадобилося 45 секунд.

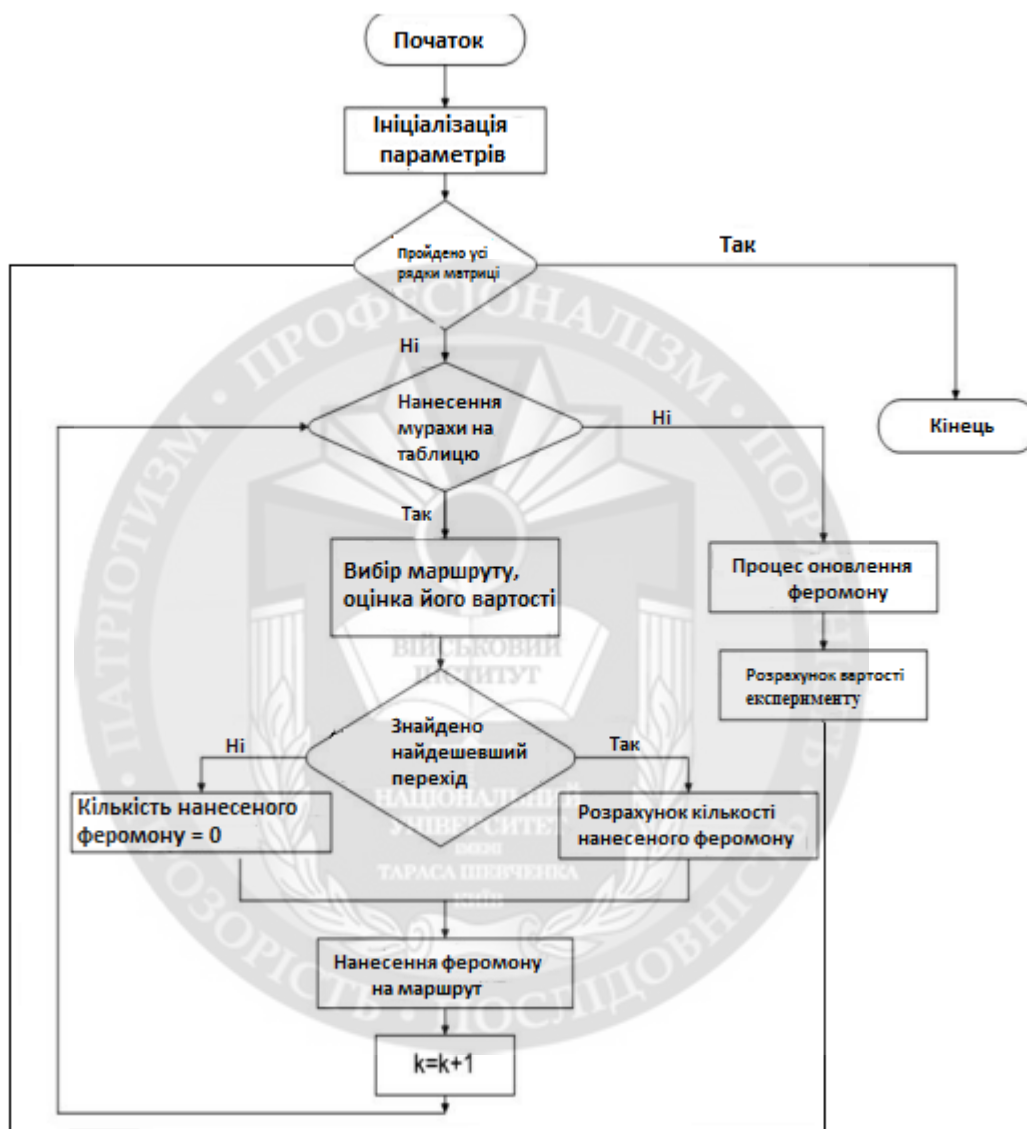


Рисунок 1 – Схема роботи алгоритму мурашиної колонії

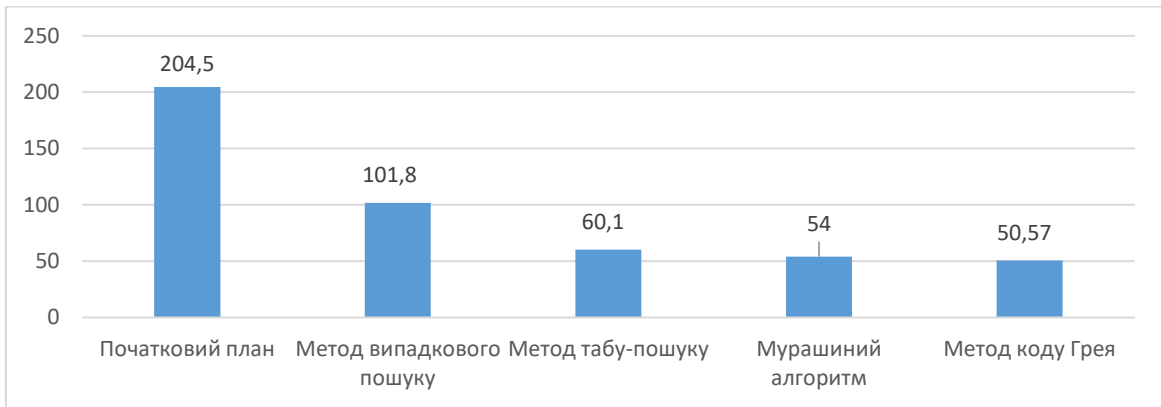


Рисунок 2 – Вартості (умов.од.) оптимізованих за різними методами [3, 4, 5] планів багатofакторного експерименту для дослідження вихрострумового перетворювача

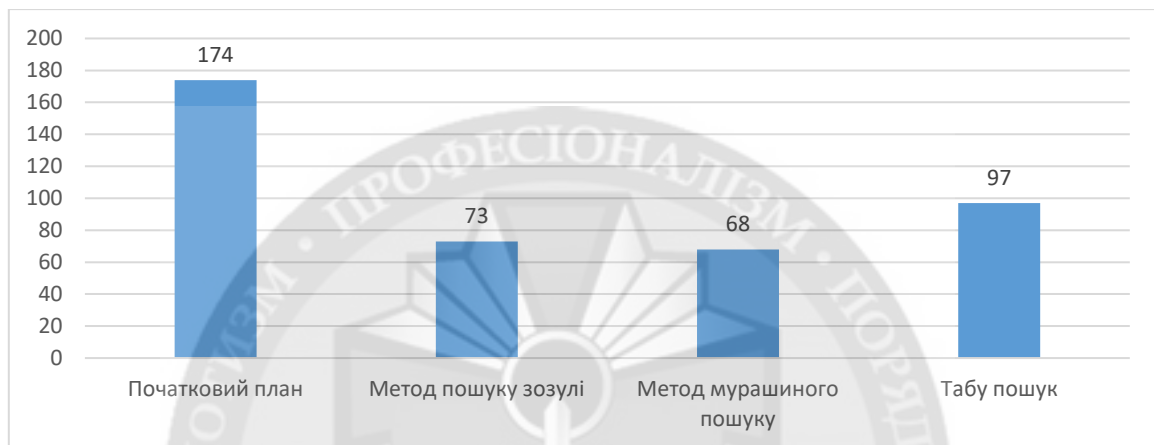


Рисунок 3 - Вартості (умов.од.) оптимізованих за різними методами [3,4] планів багатofакторного експерименту для дослідження процесу вимірювання щільності струму гальванічних ван

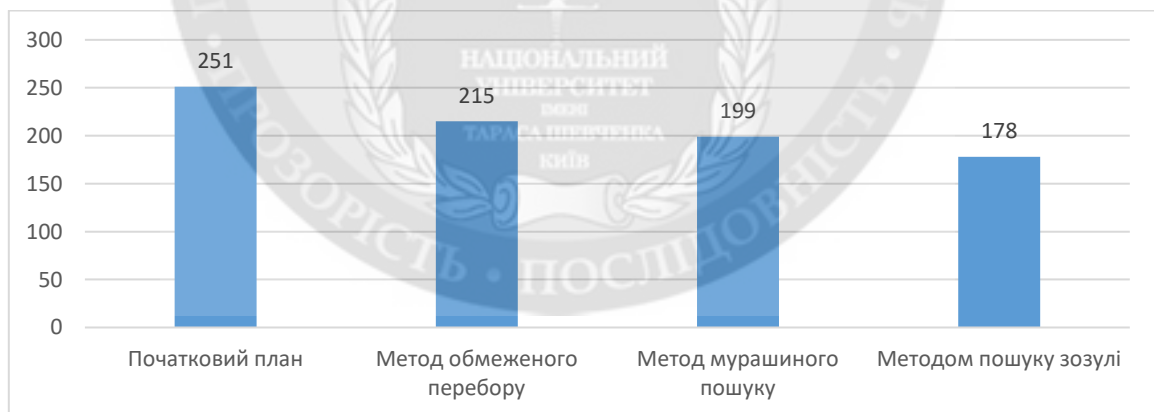


Рисунок 4 - Часи реалізації (годин) оптимізованих за різними методами [3] планів експерименту для дослідженні ділянки верстатобудівного цеху з числовим програмним управлінням

**Особливості алгоритму мурашиної колонії.** Слід зауважити, що використовувати алгоритм мурашиної колонії доцільно коли факторів більше 3, а кількість експериментів в плані більше 16. За таких умов метод мурашиної колонії знаходить кращий результат за менший час ніж метод повного перебору. Також слід зауважити, що до вибору кількості мурах та кількості ітерацій слід підходити з урахуванням необхідної точності/наявної обчислювальної потужності. Однак більша кількість мурах в кожній ітерації не надає 100% гарантію знаходження найкращого варіанту розв'язання.

На рис. 5 зображено вплив кількості ітерацій на знаходження оптимального розв'язку (умов.од.) та час (сек.) виконання розрахунків (використовуються 230 мурах в кожній ітерації).

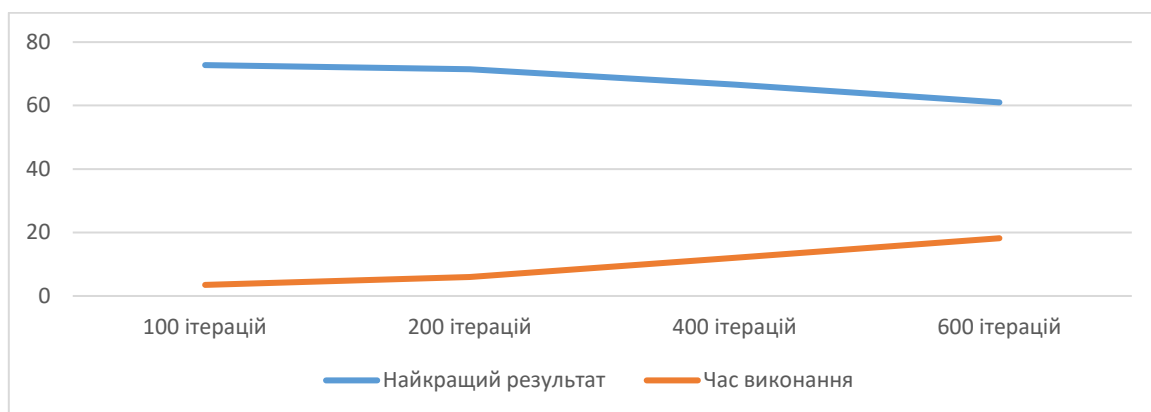


Рисунок 5 – Вплив зміни кількості ітерацій на роботу алгоритму

На рис. 6 зображено вплив кількості мурах в кожній ітерації на знаходження оптимального розв'язку та час виконання розрахунків.

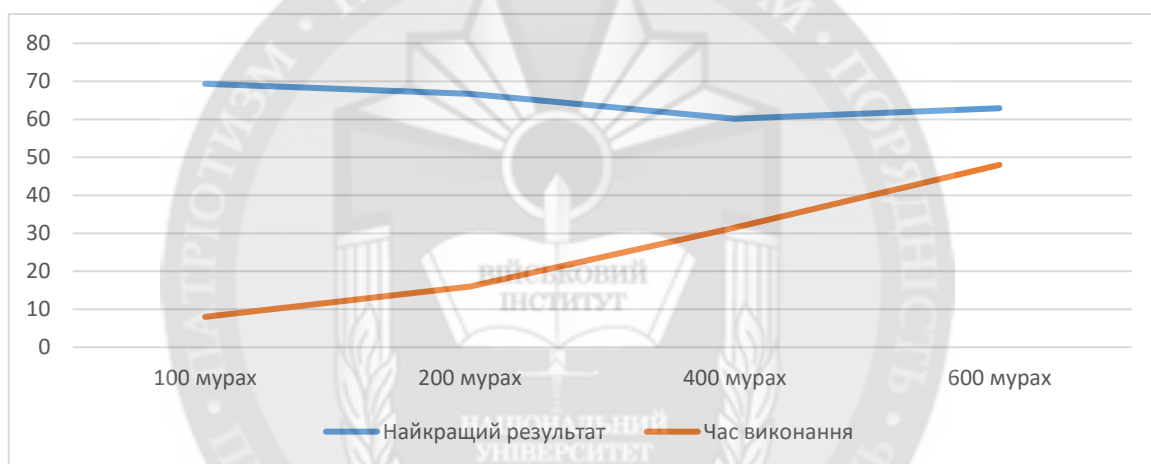


Рисунок 6 – Вплив зміни кількості мурах в кожній ітерації на роботу алгоритму

**Висновки.** З наведених даних можна зробити висновок, що метод мурашиного пошуку доволі не погано себе показав в усіх наведених прикладах. У кожному прикладі ефективність методу склала від 20%. Метод мурашиного пошуку дуже вразливий до кількості мурах, що використовується в кожній ітерації. Одже слід розумно ставитися до вибору цього параметру під час використання методу мурашиного пошуку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

- 1.Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий (программное введение в планирование эксперимента) / Ю.П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. –М.: Наука, 1971. –283 с.
- 2.Кошовий М.Д., Бурлеєв О.Л., Пампуха А.І. Аналіз методів оптимального планування багатofакторного експерименту за вартісними та часовими показниками. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка.-К.: ВІКНУ,2022.-№75.-С.94-107.DOI :<https://doi.org/10/17721/2519-418X/2022/75-10>.
- 3.Кошевой Н.Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: монография. Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт».Х.:ХАИ; Полтава: Шевченко Р.В.,2013.-316с. ISBN978-966-8798-89-4.

4.Беляева А.А. Синтез оптимальных за вартісними витратами планів експериментів для дослідження технологічних процесів і систем: дис. доктор філософії:21.07.20/ Беляева Анна Андріївна.-Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,2020.-234с.

5.Кошова І.І. Методи та засоби оптимального планування експериментів для дослідження технологічних процесів, пристроїв і систем: дис. доктор філософії: 21.07.20/ Кошова Ірина Іванівна.- Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,2020.-209с.

6.Koshevoy N.D., Kostenko E.M., Pavlyk A.V., Koshevaya I.I., Rozhnova T.G. Research of multiple plans in multi-factors experiments with a minimum number of transitions of levels of factors. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2019. no 2, P.53-59. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-6.

7.Koshevoy N.D., Muratov V.V., Kirichenko A.L., Borisenko S.A. Application of the “jumping frogs” algorithm for research and optimization of the technological process. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2021. no1(1). – P. 57 – 65. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-1-6.

8.Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. Информационные технологии. 2012. No 7. С. 1-32.

9.A. Hatamlou, Black hole:A new heuristic optimization approach for data clustering, Information sciences, 2013 - vol. 222, pp. 175–184.

10.M. Yazdani, F. Jolai, Lion optimization algorithm (loa): a nature-inspired metaheuristic algorithm, Journal of computational design and engineering, 2016 - vol. 3, no. 1, pp. 24–36.

11.Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. –М.: Мир, 1973. –302 с.

12.Кошевой Н.Д. Автоматизация экспериментальных исследований: моногр./Н.Д. Кошевой, В.А. Гаевой. –Х.: Факт, 2001. –112 с.

#### REFERENCES:

1.Adler Yu.P. Planning of an experiment in search of optimal conditions (programmatic introduction to planning an experiment) / Yu.P. Adler, E. V. Markova, Yu. V. Granovsky. - М. : Science, 1971. –283 p

2.Koshovyi M.D., Burleev O.L. and Pampukha A.I. “Analysis of methods of optimal planning of a multifactorial experiment by cost and time indicators”. Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University. 2022. №75. pp.94-107.

3.Koshovyi N.D.and Kostenko E.M. “Optimal planning of the experiment in terms of cost and time”: National Aerospace University named after N.E. Zhukovsky "Kharkov Aviation Institute". Kh.: KHAY; Poltava: R.V. Shevchenko, 2013-316 p. ISBN978-966-8798-89-4.

4.Belyaeva A.A.(2020) “Synthesis of cost-optimal experimental plans for the study of technological processes and systems: dissertation” Kharkiv, 234p.

5.Koshova I.I.(2020) “Methods and means of optimal planning of experiments for the study of technological processes, devices and systems:dissertation” Kharkiv, 209p.

6.Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Pavlyk A. V., Koshevaya I. I. and Rozhnova T. G. “Research of multiple plans in multi-factor experiments with a minimum number of transitions of levels of factors” Radio Electronics, Computer Science, Control. 2019. No. 2, P.53-59. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-6.

7.Koshevoy N.D., Muratov V.V., Kirichenko A.L.and Borisenko S.A. “Application of the “jumping frogs” algorithm for research and optimization of the technological process” Radio Electronics, Computer Science, Control. 2021. No. 1(1). – P. 57 – 65.

8.Karpenko A.P. “Population algorithms of global search optimization. Overview of new and little-known algorithms. Information technologies” 2012. No. 7. P. 1-32.

9.A. Hatamlou, “Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering, Information sciences” 2013 - vol. 222, pp. 175–184.

10.M. Yazdani and F. Jolai, “Lion optimization algorithm (loa): a nature-inspired metaheuristic algorithm” Journal of computational design and engineering, 2016 - vol. 3, no. 1, pp. 24–36.

11.Kharary F. “Theory of graphs” Kharary. – М.: Mir, 1973. – 302 p.

12.Koshevoy N. D. “Automation of experimental research: monogr – Kh.: Fakt, 2001. – 112 p.

## STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE ANT COLONIES METHOD IN OPTIMIZING PLANS OF MULTIFACTOR EXPERIMENTS

*The article is devoted to the study of the effectiveness of the method of ant colonies in the context of optimization of plans of multivariate experiments. The authors carefully analyzed the actual problems that arise in the process of optimization of multifactorial plans of experiments, analyzed a significant number of methods of optimization of multifactorial experiments and substantiated the need to develop new and productive approaches to solving these problems. The main emphasis in the article is on the ant colony method, which is considered a powerful and effective tool for quick and effective optimization of multivariate experimental plans.*

*The article includes a detailed description of the algorithm, the scheme of its operation and the implementation of the ant colony method in the form of a program written in the C++ programming language. The authors give specific examples of the application of the algorithm in various areas, such as the eddy current converter, the study of the process of measuring the current density of galvanic baths, and the analysis of a section of a machine shop with numerical software control.*

*The article carefully reviews the performance of the ant colony method, focusing on its effectiveness with a large number of experimental factors, especially when increasing the number of factors and experiments. The authors analyze the accuracy of the results and emphasize the importance of careful selection of parameters to achieve optimal research results. With this article, scientists and practitioners will find a valuable tool for optimizing and improving the performance of multivariate experiments in various fields of science and industry.*

*Keywords: ant colony method, research, multivariate experiment, software, algorithm, optimization.*

