

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БАКТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ЧАСУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

*Планування експерименту дозволяє отримати математичну модель в умовах обмежених часом та ресурсами. При проведенні експериментальних досліджень в промисловості застосовують методи оптимізації виробничих процесів. На час реалізації експерименту сильний вплив має порядок чергування рівнів зміни факторів. Найчастіше експерименти є багатофакторними і пов'язані з пошуком оптимальних умов проведення експерименту, підбором найбільш раціонального обладнання. При цьому існує гостра необхідність в підвищенні ефективності експериментальних досліджень.*

*При реалізації проекту має враховуватися безліч факторів. Основними завданнями є використання вихідних даних, ретельне їх вивчення при мінімальній кількості спостережень та інформації, вивчити вплив окремих факторів і розрахувати максимально ефективний порядок виконання експерименту. Одним із головних завдань є отримання максимальної кількості корисної для нас інформації, щоб при повторному дослідженні ми могли врахувати попередні результати і використовувати ці дані для підвищення ефективності та зменшення витрат часу в наступних експериментах. Одними із переваг є універсальність методу і можливість застосування у великій кількості сфер досліджень. Метою даної статті є подальший розвиток методології оптимального за часовими витратами планування експерименту. Тому виникає потреба в підвищенні рівня ефективності досліджень при мінімальних витратах часу та ресурсів. З перерахованих вище причин ми бачимо, що існує актуальність автоматизації та оптимізації експериментів. Виходячи з цього, був розроблений для оптимізації матриць метод бактеріальної оптимізації. Було проведено аналіз відомих методів синтезу оптимальних за часовими витратами планів експерименту. Показана ефективність бактеріального методу в порівнянні з початковим планом експерименту, аналізом перестановок та випадковим пошуком. Об'єкт дослідження: процеси планування багатофакторних експериментів в умовах обмежених часом та ресурсами. Предмет дослідження: застосування методу бактеріальної оптимізації для побудови математичної моделі з оптимальним порядком проведення експерименту.*

*Ключові слова: дослідження, план експерименту, метод, бактеріальна оптимізація, мінімізація, багатофакторний експеримент, порівняння методів.*

**Вступ.** Планування експериментальних досліджень використовується і в промисловості, і в науці. Основна мета даного наукового дослідження показати і довести необхідність і ефективність додаткових розрахунків в підготовчій фазі проекту, який в результаті дослідження буде компенсувати затрати в часі та в ресурсах. І також покаже наскільки один певний фактор може вплинути на весь дослідницький процес. На практиці основним завданням промислового експерименту є отримання максимальної кількості інформації про вплив кожного із встановлених факторів на виробничий процес та на витрати часу і ресурсів. Важливо також щоб результат був отриманий в максимально короткий проміжок часу. Оптимальне планування експерименту дозволяє успішно вирішувати ці технологічні та виробничі проблеми.

Була проведена оптимізація багатофакторного експерименту за допомогою методу бактеріальної оптимізації. Даний метод являє собою біонічні передумови бактеріальних алгоритмів [1]. Його реалізація полягає в знаходженні мінімального значення часу (вартості) шляхом порівняння даного рядку з попереднім та вибору з них оптимального. Працездатність методу бактеріальної оптимізації була перевірена на прикладі дослідження обслуговування верстатів з числовим програмним управлінням.

Об'єкт дослідження: процеси планування багатофакторних експериментів в умовах обмежених часом та ресурсами.

Предмет дослідження: застосування методу бактеріальної оптимізації для знаходження оптимального порядку проведення експерименту і мінімізації витрат часу та ресурсів.

Мета дослідження: дослідження можливості застосування методу бактеріальної оптимізації для побудови плану багатофакторного експерименту та проведення порівняльного аналізу з раніше розробленим методом (аналіз перестановок).

**Аналіз останніх досліджень.** Проведений аналіз публікацій показує те, що існує ряд прикладів побудови багатофакторних експериментів [2, 3]. Це такі існуючі методи як аналіз перестановок [3], метод випадкового пошуку [3], повний перебір [3], метод стрибаючих жаб [4], оптимізація бджолиним роєм [3, 5], алгоритм оптимізації рою часток [6].

Перераховані методи використовують при оптимізації планування експерименту для зменшення часових витрат. І кожен з методів має свої переваги і недоліки. Всі перераховані методи існують і використовуються кожен у своїй сфері діяльності і при своїх потребах. Основні недоліки методів: знаходження не оптимального плану експерименту, низька швидкодія, обмежена кількість факторів.

Виходячи з усього перерахованого, можна зробити висновок, що немає ідеального методу для оптимізації планування експерименту, тому має сенс досліджувати метод бактеріальної оптимізації на прикладі процесу обслуговування верстатів з числовим програмним управлінням.

**Основні матеріали дослідження.** Для вирішення поставленого завдання розроблений метод бактеріальної оптимізації. Вихідний план експерименту  $2^k$ .

Завдання вибору оптимального плану повного факторного експерименту може бути сформульована в такому вигляді. При дослідженні ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням в якості критерію оптимізації було вибрано сумарний час  $\bar{y}$  роботи верстатів з ЧПУ [7].

У проведених раніше дослідженнях оптимальний план повного факторного експерименту був синтезований методом аналізу перестановок.

Домінуючими чинниками, які впливають на цей показник, були обрані:  $X_1$  - час виконання профілактики  $t_n$  г.,  $X_2$  - число  $u_n$  верстатів з ЧПУ,  $X_3$  - час роботи верстатів протягом доби  $t_c$ , г.,  $X_4$  - періодичність профілактики  $t_0$ , г. Для побудови математичної моделі  $\bar{y} = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  досить застосувати повний факторний експеримент  $2^4$ . Опис процесу дослідження ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням було приведено в роботі [8].

Для оптимізації плану повного факторного експерименту  $2^4$  за часовими витратами був застосований метод бактеріальної оптимізації. Його реалізація основана на перестановці рядків і знаходження мінімального значення часу проведення експерименту. Схема реалізації даного методу представлена на рис. 1.

Часові зміни значення рівня факторів представлена в табл. 1

Таблиця 1

Часові зміни значення рівня факторів

| Часові зміни значень рівнів факторів, г. | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ |
|--|-------|-------|-------|-------|
| З «-1» до «+1»                           | 7     | 6     | 16    | 100   |
| З «+1» до «-1»                           | 3     | 2     | 12    | 50    |



Рисунок 1 – Схема реалізації методу бактеріальної оптимізації

Суть методу бактеріальної оптимізації багатofакторного експерименту полягає в наступному.

**Крок 1.** Введення необхідної кількості факторів в експерименті.

**Крок 2.** Генерація початкової матриці з урахуванням зазначеної кількості факторів в експерименті.

**Крок 3.** Введення значень часу переходів.

**Крок 4.** Розрахунок часу експерименту при початковій матриці експерименту.

**Крок 5.** Розрахунок часу значення між рядками.

**Крок 6.** Перевірка на задоволення умови.

**Крок 6.1** Перевірка не пройдена, заміна рядків місцями і повернення на крок 5.

**Крок 6.2** Перевірка пройдена, переходимо до розрахунку наступних рядків. Перехід до кроку 7.

**Крок 7.** Перевірка на проведення всіх варіантів.

**Крок 7.1.** Не всі рядки проаналізовані, повертаємося на крок 5.

**Крок 7.2.** Всі рядки проаналізовані, перехід до кроку 8.

**Крок 8.** Розрахунок часу оптимального плану експерименту.

**Крок 9.** Порівняння часу початкового плану з оптимальним.

У табл. 2 показана початкова матриця планування експерименту.

Таблиця 2

Початкова матриця планування експерименту

| Номер досліду | Фактори        |                |                |                |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|               | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |
| 1             | -              | -              | -              | -              |
| 2             | +              | -              | -              | -              |
| 3             | -              | +              | -              | -              |
| 4             | +              | +              | -              | -              |
| 5             | -              | -              | +              | -              |
| 6             | +              | -              | +              | -              |
| 7             | -              | +              | +              | -              |
| 8             | +              | +              | +              | -              |
| 9             | -              | -              | -              | +              |
| 10            | +              | -              | -              | +              |
| 11            | -              | +              | -              | +              |
| 12            | +              | +              | -              | +              |
| 13            | -              | -              | +              | +              |
| 14            | +              | -              | +              | +              |
| 15            | -              | +              | +              | +              |
| 16            | +              | +              | +              | +              |

Час реалізації початкового плану експерименту становить 251г. Оптимальний план експерименту, отриманий методом бактеріальної оптимізації, представлений в табл. 3.

Таблиця 3

Оптимальний план експерименту за методом бактеріальної оптимізації

| Номер досліду | Фактори        |                |                |                |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|               | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |
| 1             | +              | +              | +              | +              |
| 2             | +              | -              | +              | +              |
| 3             | -              | +              | +              | +              |
| 4             | -              | -              | +              | +              |
| 5             | +              | +              | -              | +              |
| 6             | +              | -              | -              | +              |
| 7             | -              | +              | -              | +              |
| 8             | -              | -              | -              | +              |
| 9             | +              | +              | +              | -              |
| 10            | +              | -              | +              | -              |
| 11            | -              | +              | +              | -              |
| 12            | -              | -              | +              | -              |
| 13            | +              | +              | -              | -              |
| 14            | +              | -              | -              | -              |
| 15            | -              | +              | -              | -              |
| 16            | -              | -              | -              | -              |

Час реалізації оптимального плану експерименту становить 181г.

У табл. 4 представлені раніше розроблені плани експерименту для дослідження ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням [3].

Таблиця 4

План експерименту для дослідження ділянки цеху

| Аналіз перестановок |                |                |                |                | Випадковий пошук |                |                |                |                |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Номер досліджу      | Фактори        |                |                |                | Номер досліджу   | Фактори        |                |                |                |
|                     | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |                  | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |
| 1                   | -              | -              | +              | -              | 1                | +              | -              | +              | -              |
| 2                   | +              | -              | +              | -              | 2                | -              | +              | +              | -              |
| 3                   | -              | +              | +              | -              | 3                | -              | -              | +              | +              |
| 4                   | +              | +              | +              | -              | 4                | +              | +              | +              | +              |
| 5                   | +              | +              | -              | -              | 5                | -              | +              | +              | +              |
| 6                   | +              | -              | -              | -              | 6                | +              | +              | +              | -              |
| 7                   | -              | -              | -              | -              | 7                | +              | -              | +              | +              |
| 8                   | -              | +              | -              | -              | 8                | -              | -              | +              | -              |
| 9                   | -              | -              | -              | +              | 9                | -              | +              | -              | +              |
| 10                  | +              | -              | -              | +              | 10               | -              | +              | -              | -              |
| 11                  | -              | +              | -              | +              | 11               | +              | +              | -              | -              |
| 12                  | +              | +              | -              | +              | 12               | +              | -              | -              | -              |
| 13                  | -              | -              | +              | +              | 13               | +              | -              | -              | +              |
| 14                  | +              | -              | +              | +              | 14               | -              | -              | -              | -              |
| 15                  | -              | +              | +              | +              | 15               | -              | -              | -              | +              |
| 16                  | +              | +              | +              | +              | 16               | +              | +              | -              | +              |

Час реалізації плану експерименту, отриманого методом аналізу перестановок, становить 215г., випадковим пошуком – 778г.

У табл. 5 представлений порівняльний аналіз початкового плану експерименту з планами, отриманими наступними методами оптимізації: аналізом перестановок, випадковим пошуком і методом бактеріального пошуку.

Таблиця 5

Порівняльний аналіз методів

| Метод оптимізації   | Часові витрати, г. | Виграш, разів |
|---------------------|--------------------|---------------|
| Початковий план     | 251                |               |
| Аналіз перестановок | 215                | 1.17          |
| Випадковий пошук    | 778                | 0.32          |
| Бактеріальний метод | 181                | 1.39          |

У результаті порівняння часу реалізації експерименту, отриманого різними методами оптимізації, можна зробити висновок, що план експерименту, оптимізований методом бактеріальної оптимізації, дає максимальний виграш за часовими витратами.

**Висновки.** Для оптимізації планів багатofакторного експерименту за часовими витратами розроблений метод бактеріальної оптимізації.

У даній статті доведено його ефективність і працездатність для дослідження ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням. За результатами дослідження метод бактеріальної оптимізації дає виграш у часі в 1,39 рази в порівнянні з початковим планом

експерименту. Оптимізація бактеріальним методом дає кращий результат в порівнянні з аналізом перестановок і випадковим пошуком.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 446с.
2. Кошева И.И., Кошевой Н.Д., Раскин Л.Г. Синтез оптимальных по стоимостным или временным затратам планов полного факторного эксперимента. Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. 2016. №2. С.46-50.
3. Кошевой Н. Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: монография. Полтава: изд. Шевченко Р.В., 2013. 317 с.
4. Кошевой Н.Д., Муратов В.В. Применение алгоритма прыгающих лягушек для оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента. Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. 2018. №4. С. 53-61.
5. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. Информационные технологии. 2012. №7. С. 1-32.
6. Кошевой Н.Д., Беляева А.А. Применение алгоритма оптимизации роём частиц для минимизации стоимости проведения многофакторного эксперимента. Радиоелектроніка, інформатика, управління. 2018. №1. С.41-49. DOI 10.15588/1607-3274-2018-1-5.
7. Барабашук В.И. Планирование эксперимента в технике. К.: Техніка, 1984. 200 с.
8. Кошовий М.Д., Костенко О.М. Оптимальне планування експериментів при обслуговуванні верстаків з числовим програмним управлінням. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2010. №3. С. 155-158.

#### REFERENCES:

1. Karpenko A.P. (2014) Modern search engine optimization algorithms. Algorithms Inspired by Nature: A Study Guide. M.: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 446p.
2. Koshevaya I.I., Koshevoy N.D., Raskin L.G. (2016). Synthesis of plans for a complete factorial experiment that are optimal in terms of cost or time costs. Radioelectronic and computer systems, No. 2, pp.46-50.
3. Koshevoy N.D., Kostenko E.M. (2013). Optimal in terms of cost and time expenditures planning of the experiment: monograph. Poltava: ed. Shevchenko R.V., 317 p.
4. Koshevoy N.D., Muratov V.V. (2018). Application of the jumping frog algorithm for cost (time) cost optimization of full factorial experiment designs. Radioelectronic and computer systems, no. 4, pp. 53-61.
5. Karpenko A.P. (2012). Population algorithms for global search engine optimization. Review of new and little-known algorithms. Information Technology, no. 7, pp. 1-32.
6. Koshevoy N.D., Belyaeva A.A. (2018). Application of an optimization algorithm by a swarm of particles to minimize the cost of conducting a multivariate experiment. Radioelectronics, informatics, management, no. 1, pp.41-49. DOI 10.15588 / 1607-3274-2018-1-5.
7. Barabashchuk V.I. (1984). Planning an experiment in technology. K, Tekhnika, 200 p.
8. Koshevoy N.D., Kostenko O.M. (2010). Optimal planning of experiments when servicing workbenches with numerical software controls. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy. No. 3, Pp. 155-158.

**D.Sci. Tech., Prof. Koshevoy N.D., Pylypenko O.T.**

#### **APPLICATION OF THE BACTERIAL OPTIMIZATION METHOD TO MINIMIZE THE COST OF CONDUCTING A MULTIFACTOR EXPERIMENT**

*Experiment planning allows you to get a mathematical model in a time and resource restricted conditions. When conducting experimental research in industry, methods of optimizing production processes are used. The order of the levels' alternation of production processes' change has a strong influence on the time of the experiment. Most often, experiments are multifactorial and associated with the search for optimal conditions for the experiment, the selection of the most rational equipment. At the same time, there is an urgent need to improve the efficiency of experimental research.*

*There are many factors to consider when implementing a project. The main tasks are to use the initial data, carefully study them with a minimum amount of observations and information, study the*

*influence of individual factors and calculate the most effective procedure for performing the experiment. One of the main tasks is to obtain the maximum amount of information that is useful to us, so that when we re-examine, we can take into account the previous results and use this data to increase efficiency and reduce the time spent in subsequent experiments. One of the advantages is the versatility of the method and the possibility of applying it in a large number of research areas. The purpose of this article is to further develop the methodology of time-optimal experiment planning. Therefore, there is a need to increase the level of research efficiency with a minimum investment of time and resources. From the reasons listed above, we see that there is an urgency to automate and optimize experiments. Based on this, a bacterial optimization method was developed for matrix optimization. The analysis of known methods of synthesis of time-optimal experimental plans was carried out. The effectiveness of the bacterial method is shown in comparison with the original experimental outline, analysis of permutations and random search. Object of research: planning processes of multifactor experiments in conditions of limited time and resources. Subject of research: application of the bacterial optimization method to build a mathematical model with the optimal order of the experiment.*

*Key words: research, experimental outline, method, bacterial optimization, minimization, multivariate experiment, comparison of methods.*

