

ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ШТУЧНИХ БДЖОЛИНИХ КОЛОНІЙ

У статті були досліджені властивості комбінаторних планів багатofакторного експерименту. Розроблено алгоритм оптимізації за вартісними (часовими) витратами планів багатofакторних експериментів з використанням алгоритму штучних бджолиних колоній (ШБК) і програмне забезпечення для його реалізації, що базуються на перестановці рядків матриці планування експерименту. Показана його ефективність в порівнянні з методами випадкового пошуку, класичного і клітинного генетичних алгоритмів та методу вкладених розбиттів. Ефективність використання даного алгоритму показана на прикладах дослідження процесів нерівномірності покриття провідників гальванічним осадом і точності пристрою для контролю якості діелектричних матеріалів. Працездатність алгоритму штучних бджолиних колоній підтверджується наблизенням оптимальних планів, отриманих цим методом і методом повного перебору.

Ключові слова: алгоритм штучних бджолиних колоній, планування експерименту, оптимальний план, інтелект рою .

Постановка проблеми. Зростання ефективності виробничих процесів безпосередньо пов'язано з побудовою адекватних математичних моделей. Котрі використовують для пошуку оптимальних режимів, здатних забезпечити необхідну якість продукції. Особливо підвищення ефективності досліджень важливо для дорогих і тривалих технологічних процесів.

Для вирішення задачі оптимізації застосовують різні способи підвищення результативності експериментальних методів дослідження.

Зміна порядку проведення дослідів істотно впливає на витрати по проведенню експерименту. Збільшення кількості розглянутих варіантів ускладнює пошук оптимального плану. Основна складність полягає в швидкому зростанні кількості варіантів перестановок в залежності від кількості факторів і кількості їх рівнів. При сучасному рівні розвитку обчислювальної техніки точно вирішити задачу неможливо. У зв'язку з цим стає актуальною розробка і дослідження наближених алгоритмів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі приклади побудови оптимальних багатофакторних планів, базуються на використанні таких методів оптимізації: аналіз перестановок [1], випадковий пошук [1], класичний (КГА) і клітинний генетичні алгоритми [2], жадібний алгоритм [3], імітації відпалу [4], метод вкладених розбиттів [5]. Ці наближені методи дозволяють знаходити близький до оптимального план експерименту.

Ефективність їх застосування доведена при дослідженні ряду різних об'єктів: технологічних процесів, приладів, систем. Але при великій кількості факторів для перебору всіх можливих варіантів необхідно багато часу.

Зважаючи на це, доцільно для порівняння результатів застосувати алгоритм штучних бджолиних колоній (ШБК).

Формулювання мети статті. Аналіз процесів оптимізації різних технологічних процесів за вартістю реалізації та часом пошуку оптимального плану експерименту з використанням алгоритму штучних бджолиних колоній.

Виклад основного матеріалу. Розроблено метод і програмне забезпечення оптимізації планів експерименту за вартісними або часовими витратами з використанням алгоритму ШБК.

Основна ідея алгоритму ШБК – це імітація поведінки бджіл при пошуку нектару [6]. Під нектаром розуміється значення фактора по кожному рядку плану експерименту, під кількістю знайденого бджолою нектару слід розуміти вартісні зміни факторних рівнів.

Схема алгоритму зображена на рис. 1. Сутність застосування алгоритму, полягає в наступному.

Крок 1. На початку роботи алгоритму вводиться кількість факторів k .

Крок 2. Залежно від обраної кількості факторів здійснюється побудова матриці планування експерименту.

Крок 3. Необхідно ввести значення вартостей переходів між рівнями для кожного з факторів.

Крок 4. Здійснюється перебір всіх можливих дослідів при плануванні експерименту. Якщо проаналізовані всі можливі варіанти переходів, то виконується крок 17, в іншому випадку – 5.

Крок 5. Відбувається ініціалізація випадкового пошуку k варіантів переходу з поточного стану i -го рядка до $(i+1)$ -го рядка.

Крок 6. Здійснюється розрахунок вартостей знайдених переходів від i -го рядка до $(i+1)$ -го рядка.

Крок 7. Обрати варіант переходу з найменшими затратами. Такий перехід називається – N -перехід.

Крок 8. Необхідно також обрати перспективні варіанти переходів – M -переходи, для котрих різниця вартостей переходів з N -переходом максимальні. Кількість M -переходів визначається з урахуванням кількості факторів: $m=k-2$. Обліт перспективними областями зменшує ймовірність потрапляння в локальні мінімуми.

Крок 9. Відбувається ініціалізація випадкового пошуку k варіантів переходу з поточного стану $(i+1)$ -го рядка до $(i+2)$ -го рядка.

Крок 10. Відбувається ініціалізація випадкового пошуку $k-2$ варіантів переходу з поточного стану $(i+1)$ -го рядка до $(i+2)$ -го рядка для кожного $(i+1)$ -го рядка з M -переходів.

Крок 11. Розрахунок сумарної вартості переходу від i -го рядка до $(i+2)$ -го рядка.

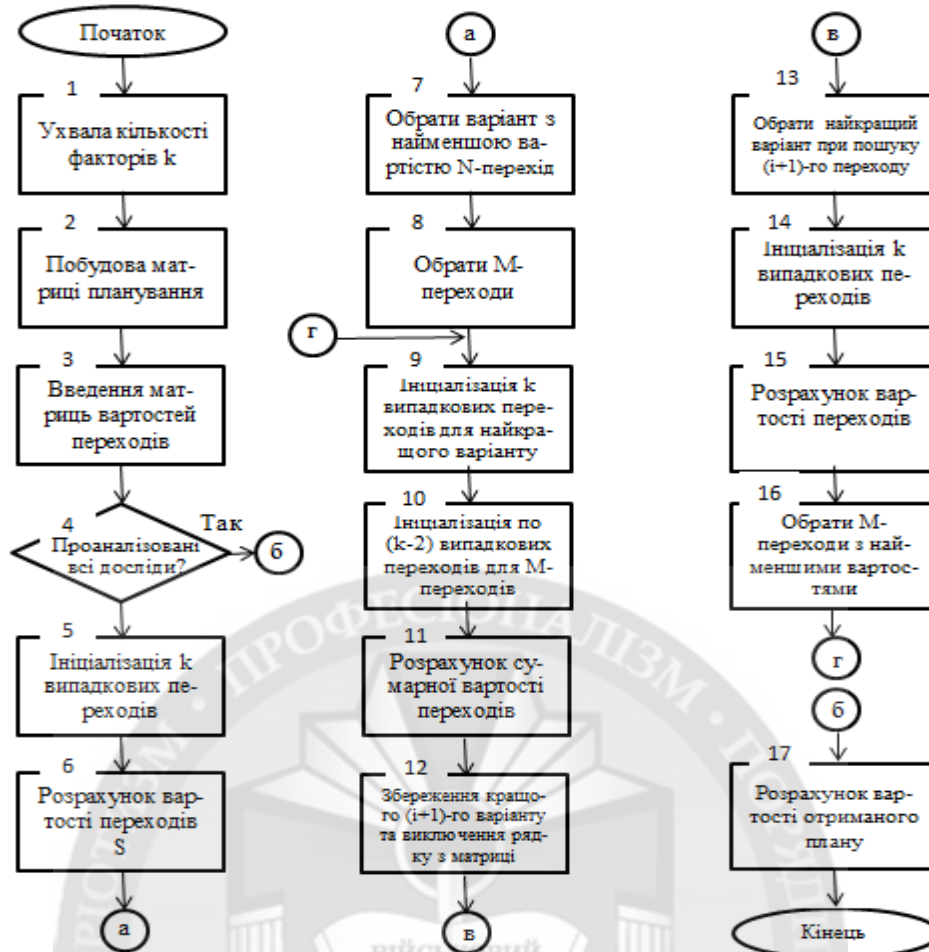


Рис. 1. Схема алгоритму

Крок 12. Збереження найкращого варіанту переходу від i -го рядка до $(i+1)$ -го рядка та видалення його з подальшого розгляду.

Крок 13. Обрати кращий варіант при пошуку $(i+2)$ -го рядка (крок 11) за N -перехід.

Крок 14. Ініціалізація випадкового пошуку перспективних переходів з поточного стану $(i+1)$ -го рядка до $(i+2)$ -го рядка.

Крок 15. Здійснюється розрахунок вартостей переходів від $(i+1)$ -го рядка до $(i+2)$ -го рядка.

Крок 16. Обрати перспективні варіанти переходів – M -переходи, варіанти з найменшими вартостями переходів. Кількість M -переходів визначається з урахуванням кількості факторів $m=k-2$.

Крок 17. Відбувається розрахунок вартості реалізації отриманого плану.

Алгоритм повторюється до тих пір поки на протязі якоїсь досить великої кількості ітерацій знайдене рішення не буде поліпшуватися.

Перевірка працездатності розробленого алгоритму і програмного забезпечення для оптимізації багатфакторних планів експерименту здійснювалася на наступних технологічних процесах:

- 1) оптимізації параметрів нерівномірності покриття провідників гальванічними опадами [7];
- 2) точності пристрою для контролю якості діелектричних матеріалів [8];
- 3) процес вимірювання густини струму гальванічних ванн з використанням мірних датчиків [1].

Ці завдання були вирішені методами аналізу перестановок, випадковим пошуком, генетичними алгоритмами і методом вкладених розбиттів. Порівняння результатів представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння по критерію вартості результатів оптимізації планів експериментів різними методами

Технологічний процес	Початкова вартість, ум. од.	Методи									
		Аналіз перестановок		Випадковий пошук		Генетичні алгоритми		Метод вкладених розбиттів		Алгоритм штучних бджолиних колоній	
		1		2		3		4		5	
		Вартість, ум. од.	Виграш, раз	Вартість, ум. од.	Виграш, раз	Вартість, ум. од.	Виграш, раз	Вартість, ум. од.	Виграш, раз	Вартість, ум. од.	Виграш, раз
1	24,7	19,1	1,3	23,4	1,1	16,1	1,5	16,1	1,5	16,1	1,5
2	72,2	30,5	2,4	41,8	1,7	25,8	2,8	25,8	2,8	25,8	2,8
3	174	147	1,2	110	1,6	64	2,7	64	2,7	60	2,9

Графічна ілюстрація виграшів за вартістю реалізації планів експерименту, отриманих розглянутими методами, показана на рис. 2.

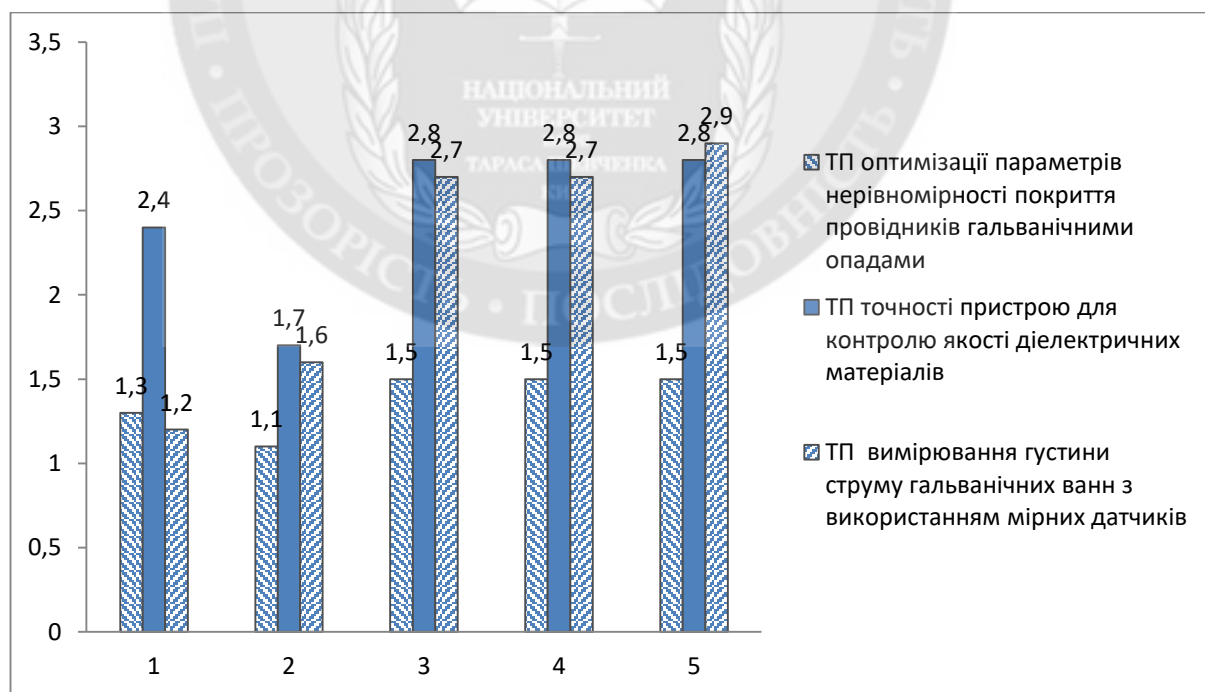


Рис. 2. Динаміка показників виграшів

При пошуку оптимальних комбінаторних планів експерименту методом ШБК було витрачено менше 0,1 с. для кожного технологічного процесу, що досліджувались.

Висновки. Розроблено алгоритм і програмне забезпечення, що реалізують оптимізацію багатofакторних планів експериментів із застосуванням алгоритму ШБК. Доведена працездатність і ефективність методу при дослідженні технологічних процесів.

Показано, що розроблене програмне забезпечення дозволяє без повного перебору всіх варіантів перестановок отримати оптимальні або близькі до оптимальних по вартості реалізації багаторівневі плани багатofакторного експерименту за час рахунку менший 0,1 с.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кошевой Н. Д. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента /Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко. – Полтава: издатель Шевченко Р.В., 2013. – 317 с.
2. Кошевой Н. Д. Оптимальное планирование эксперимента с использованием генетических алгоритмов /Н. Д. Кошевой, Е. А. Сухобрус//Математичне моделювання. – 2013. – № 2(29). – С. 36-40.
3. Кошевой Н. Д. Применение жадного алгоритма для оптимизации многофакторных экспериментов /Н.Д. Кошевой, А.В. Бельмега// Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – 2014. – № 47. – С. 29-37.
4. Кошевой Н. Д. Применение алгоритма имитации отжига для оптимизации многофакторных планов эксперимента /Н. Д. Кошевой, А. В. Бельмега //Системы обработки информации.- 2015. – № 6(131). – С. 103-106.
5. Кошевой Н.Д. Оптимальное планирование эксперимента в условиях ограниченных ресурсов / Кошевой Н.Д., Стадник А.С.// Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – 2017. – № 54. – С. 230-235.
6. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы вдохновленные природой: учебное пособие/ А.П. Карпенко. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 446 с.
7. Экспериментальное исследование, моделирование и оптимизация процесса гальванического меднения печатных плат / Н. Д. Кошевой, С. Г. Бестань, Г. К. Кожевников, О. Н. Кошевой, Н. В. Доценко // Математическое моделирование. –2001. – № 1. – С. 28-30.
8. Кошевой Н. Д. Оптимальное планирование эксперимента при исследовании устройства для контроля качества диэлектрических материалов / Н. Д. Кошевой, Е. М. Костенко, А. В. Заболотный // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2009. – № 147. – С. 38-42.

REFERENCES:

1. Koshevoy N.D. Optimal'noye po stoimostnym i vremennym zatratam planirovaniye eksperimenta /N.D. Koshevoy, Ye.M. Kostenko. – Poltava: izdatel' Shevchenko R.V., 2013. – 317 s.
2. Koshevoy N.D. Optimal'noye planirovaniye eksperimenta s ispol'zovaniyem geneticheskikh algoritmov / N.D. Koshevoy, Ye. A. Sukhobrus//Matematichne modelyuvannya. – 2013. – № 2(29). – S. 36-40.
3. Koshevoy N.D. Primeneniye zhadnogo algoritma dlya optimizatsii mnogofaktornykh eksperimentov /N.D. Koshevoy, A.V. Bel'mega// Zbírnik naukovikh prats' Víys'kovogo ínstitutu Kiívs'kogo natsíonal'nogo uníversitetu ím. Tarasa Shevchenka. – 2014. – № 47. – S. 29-37.
4. Koshevoy N.D. Primeneniye algoritma imitatsii otzhiga dlya optimizatsii mnogofaktornykh planov eksperimenta / N.D. Koshevoy, A.V. Bel'mega //Sistemi obrobki ínformatsíi. - 2015. – № 6(131). – S. 103-106.
5. Koshevoy N.D. Optimal planning of the experiment in the conditions of limited resources / Koshevoy ND, Stadnik A.S. / Zbírnik naukovikh prats' Víys'kovogo ínstitutu Kiívs'kogo natsíonal'nogo uníversitetu ím. Tarasa Shevchenka. - 2017. - No. 54. - P. 230-235.
6. Karpenko A.P. Modern search engine optimization algorithms. Algorithms inspired by nature: tutorial / A.P. Karpenko - Moscow: MGTU Publishing House. N.E. Baumana, 2014. – 446 pp.
7. Eksperimental'noye issledovaniye, modelirovaniye i optimizatsiya protsessa gal'vanicheskogo medneniya pechatnikh plat / N.D. Koshevoy, S.G. Bestan', G.K. Kozhevnikov, O.N. Koshevoy, N.V. Dotsenko // Matematicheskoye modelirovaniye. – 2001 g. – № 1. –S. 28-30.

8. Koshevoy N.D. Optimal'noye planirovaniye eksperimenta pri issledovanii ustroystva dlya kontrolya kachestva dielektricheskikh materialov / N.D. Koshevoy, Ye. M. Kostenko, A.V. Zabolotnyy // Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki. - 2009. – № 147. – S. 38-42.

Рецензент: д.т.н., проф. Угрюмов М.Л., профессор кафедры інформатики Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

д.т.н., проф. Кошевой Н.Д., Стадник А.С.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННЫХ ПЧЕЛИНЫХ КОЛОНИЙ

В статье были исследованы свойства комбинаторных планов многофакторного эксперимента. Разработаны алгоритм оптимизации по стоимостным (временным) затратам многофакторных планов экспериментов с использованием алгоритма искусственных пчелиных колоний (ИПК) и реализующее его программное обеспечение, основанные на перестановке строк матрицы планирования эксперимента. Показана его эффективность в сравнении с методами случайного поиска, классического и ячеистого генетических алгоритмов и метода вложенных разбиений. Эффективность использования данного алгоритма показана на примерах исследования процессов неравномерности покрытия проводников гальваническими осадками и точности устройства для контроля качества диэлектрических материалов. Работоспособность алгоритма искусственных пчелиных колоний подтверждается приближением оптимальных планов, полученных этим методом и методом полного перебора.

Ключевые слова: алгоритм искусственных пчелиных колоний, планирование эксперимента, оптимальный план, роевой интеллект.

prof. Koshevoy N.D., Stadnik A.S.

OPTIMAL PLANNING OF EXPERIMENT ON THE BASIS OF ALGORITHM OF ARTIFICIAL BEE COLONIES

The article properties of experiment combinatorial plans are investigated. The methods and program optimization multifactor experimental in cost (timing) designs by means Artificial Bee Colony Algorithm (ABC) are developed and software for its implementation, based on the permutation matrix rows experiment planning. Its effectiveness in comparison with the methods of random search of classic and cellular genetic algorithms of optimization for multifactor experimental designs is shown and method of embedded partitions. The effectiveness of this method is demonstrated on the research of the uneven coating of conductors by galvanic precipitates and precision of the device to control the quality of dielectric materials. The efficiency of the Artificial Bee Colony.

Algorithm approach confirmed plans obtained by this method and the brute-force method. Keywords: Artificial Bee Colony Algorithm, experimental design, optimal plan time spent, Swarm intelligence.