

УДК 51 9.24:62.50

М. Д. Кошовий, д-р техн. наук,
О. С. Чуйко,
О. М. Костенко, канд. техн. наук

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ

Розроблено алгоритм оптимізації композиційних планів другого порядку методом послідовного наближення. Показано ефективність його застосування при дослідженні процесу приготування попкорну в мікрохвильовій печі. Отримано вигоди у вартісних витратах на реалізацію експерименту в 3,36 рази в порівнянні з початковим планом. Проведено порівняльний аналіз розробленого алгоритму оптимізації методами аналізу перестановок, випадкового пошуку і методом гілок і меж.

Ключові слова: експеримент, планування, оптимізація, технологічний процес.

N. D. Koshevoy, ScD.,
A. S. Chuiko,
E. M. Kostenko, PhD.

ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF COMPOSITE PLANS OF EXPERIMENT BY THE METHOD OF CONSECUTIVE APPROACH

The algorithm of optimization of composite plans of the second order by a method of consecutive approach was created. Efficiency of its using at study of process of preparation popcorn in a microwave was proved. The gain in cost expenses for realization of experiment in 3,36 times in comparison with the initial plan was received. The comparative analysis of the developed algorithm of optimization with following methods of optimization was lead: a method of the analysis of rearrangements, casual search and a method of branches and borders.

Keywords: experiment, planning, optimization, technological process.

Н. Д. Кошевой, д-р. техн. наук,
А. С. Чуйко,
Е. М. Костенко, канд. техн. наук

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Разработан алгоритм оптимизации композиционных планов второго порядка методом последовательного приближения. Показана эффективность его применения при исследовании процесса приготовления попкорна в микроволновой печи. Получен выигрыш в стоимостных затратах на реализацию эксперимента в 3,36 раза по сравнению с исходным планом. Проведен сравнительный анализ разработанного алгоритма оптимизации следующими методами анализа перестановок, случайного поиска и методом ветвей и границ.

Ключевые слова: эксперимент, планирование, оптимизация, технологический процесс.

Постановка проблеми. Під час виконання завдань оптимізації й керування різними об'єктами виникає проблема одержання математичних моделей зазначених об'єктів. Для їх одержання широко використовують методи планування експериментів. При цьому виправдане прагнення експериментаторів одержувати ці моделі за умови мінімальних вартісних і часових витратах. Особливо це завдання актуальне у разі дослідження дорогих і тривалих процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі методи синтезу оптимальних за вартісними і часовими витратами планів

дробових і повного факторних експериментів, засновані на використанні таких методів оптимізації [1,2]: аналізу перестановок, випадкового пошуку і метод гілок та меж. Доведено, що для об'єктів з кількістю факторів $k \leq 3$ характерний збіг оптимальних планів, отриманих методом аналізу перестановок і методом гілок і меж [3]. Для оптимізації багатфакторних планів експерименту з кількістю факторів $k > 3$ варто застосовувати метод гілок і меж [4]. Доцільно поширити застосування методу послідовного наближення на виконання завдань оптимізації композиційних планів другого порядку: ортогональних центральних композиційних планів (ОЦКП) і центральних композиційних планів (РЦКП).

© Кошовий М.Д., Чуйко О.С.,
Костенко О.М., 2012

Мета статті. Розробити алгоритм оптимізації композиційних планів другого порядку методом послідовного наближення, довести ефективність його застосування, провести порівняльний аналіз розробленого алгоритму з іншими методами оптимізації.

Основні результати досліджень. Сутність методу послідовного наближення полягає в наступному: 1) спочатку береться перший рядок матриці планування й виконується пошук місця в поточній матриці планування, що приведе до найбільшого зменшення вартості (часу) реалізації експерименту; 2) далі в отриманій матриці планування береться другий рядок і проводиться те ж, що й з першим рядком; 3) аналогічні дії проводяться з іншими (3,4,...n) рядками матриці планування; 4) якщо при виконанні (1–3) була виконана хоч одна перестановка, то знову беремо перший рядок матриці планування й повторюємо всі дії (1–3) спочатку; 5) далі беремо перший і другий рядки матриці планування й виконуємо ті ж дії (1), що й з першим рядком; 6) далі беремо другий і третій рядки матриці планування й виконуємо ті ж дії, що й в (5); 7) аналогічні дії виконуємо з іншими послідовними парами рядків матриці планування; 8) якщо при виконанні (5–7) була виконана хоч одна перестановка, то знову беремо перший і другий рядки матриці планування й повторюємо всі дії (5–7) спочатку; 9) аналогічні дії (5–8) виконуємо з трьома, чотирма,..., (n-2) послідовними рядками матриці планування; 10) якщо при виконанні (1–9) була виконана хоч одна перестановка, то знову беремо перший рядок матриці планування й повторюємо всі дії (1–9) спочатку, у противному випадку оптимізація закінчена;

Сутність алгоритму, схема якого зображена на рис. така.

Етап 1. На початку роботи алгоритму виконується введення кількості факторів досліджуваного об'єкта k ($k \leq 10$).

Етап 2. Здійснюється вибір одного з доступних планів: ОЦКП, ядром якого є дробовий факторний експеримент (ДФЕ) або повний факторний експеримент (ПФЕ); РЦКП, ядром якого також виступає ДФЕ

або ПФЕ. У випадку, коли ядром є ДФЕ, то додатково потрібно ввести генеруючі співвідношення.

Етап 3. Залежно від обраного плану виконується побудова матриці планування й вивід її на екран.

Етап 4. Користувач вводить вартості (час) переходів між рівнями для кожного фактора.

Етап 5. Будується матриця дуг, у якій елемент матриці d_{ij} являє собою вартість (час) переходу з i -го в j -й експеримент. Вартість (час) переходу з i -го експеримент в i -й дорівнює нескінченності.

Етап 6. Визначається вартість (часу) реалізації експерименту за початковим планом.

Етап 7. Виконується перебір усіх можливих довжин (m) ланцюгів. Ланцюгом довжиною m називається m послідовних рядків матриці планування.

Етап 8. Виконується перебір усіх можливих ланцюгів довжиною m .

Етап 9. Виконується пошук оптимального місця установки. Оптимальним називається те місце, перестановка ланцюга в яке приводить до найбільшого зменшення вартості (часу) реалізації експериментів.

Етап 10. Якщо оптимальне місце знайдено, то виконується етап 11, у противному випадку – етап 12.

Етап 11. Виконується перестановка експериментів у матриці планування в новій, більш оптимальній послідовності.

Етап 12. Якщо всі ланцюги довжиною m перебрані, то виконується етап 13, у противному випадку – етап 8.

Етап 13. Якщо впродовж циклу (етапи 8-13) була виконана хоч одна перестановка, то виконується етап 8, у противному випадку етап 14.

Етап 14. Якщо перебрано всі можливі довжини ланцюгів, то виконується етап 15, у противному випадку – етап 7.

Етап 15. Якщо впродовж циклу (етапи 7–15) була виконана хоч одна перестановка в матриці планування, то виконується етап 7, у противному випадку етап – 16.

Етап 16. На екран виводиться оптимізована матриця планування.

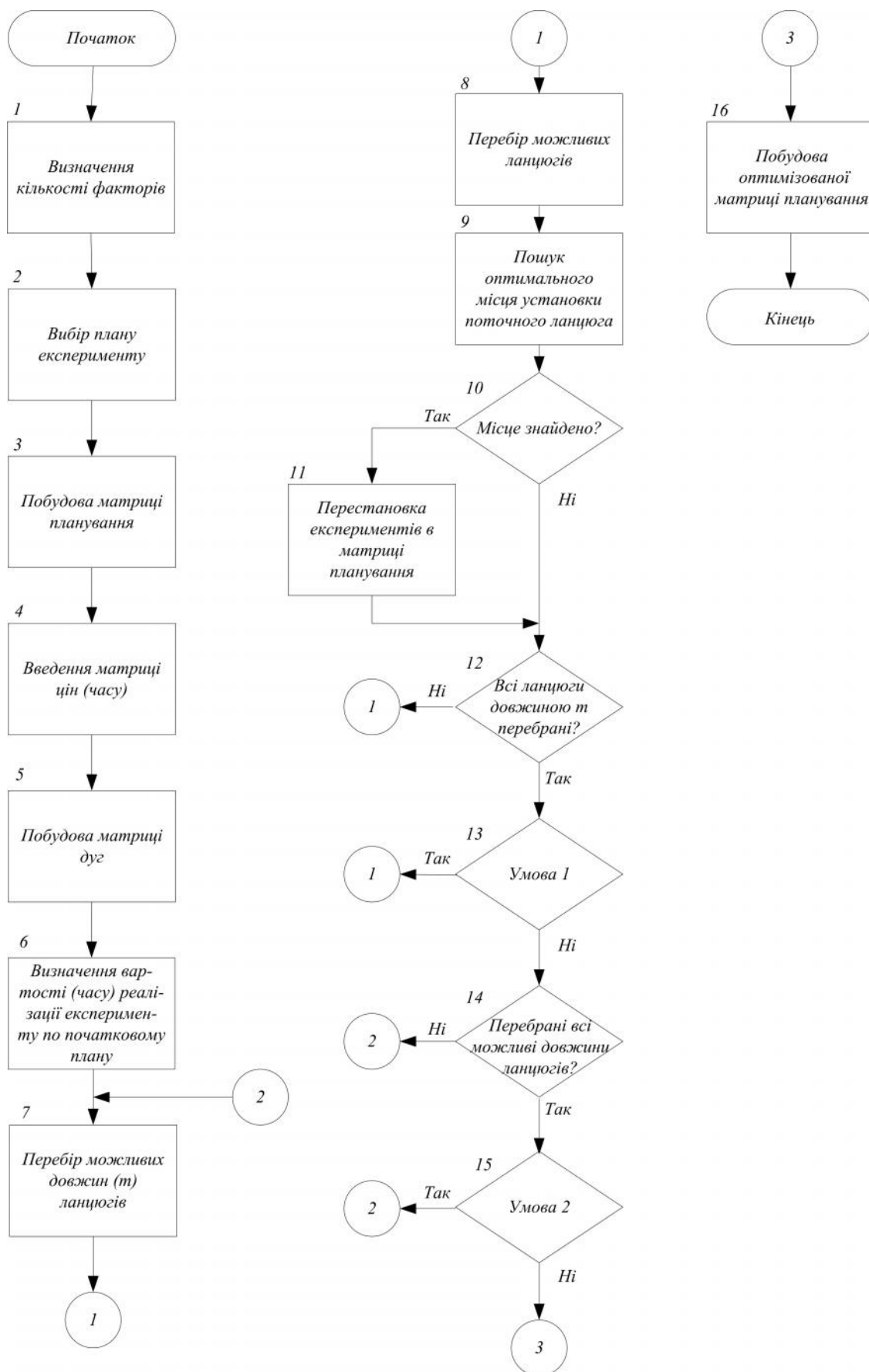


Рис. 1. Алгоритм оптимізації композиційних планів другого порядку методом послідовного наближення

Працездатність алгоритму, що реалізує метод послідовного наближення для оптимізації композиційних планів другого порядку, перевірялась на практиці методами аналізу перестановок, випадкового пошуку й гілок та меж.

При дослідженні технологічного процесу приготування попкорну в мікрохвильовій печі [5] як параметри оптимізації фіксувалися: Y_1 – кількість кукурудзи, що залишилася нерозкритою; Y_2 – смакові якості попкорна. Домінуючими факторами, що впливають на ці показники, були обрані: X_1 – ціна пакета кукурудзи для приготування попкорна, ум. од.; X_2 – час готування, хв.; X_3 – потужність мікрохвильової печі, середня або висока; X_4 – наявність попереднього підігрівання; X_5 – наявність підйому підносу.

Початковий план виконання дослідження процесу представлено у табл. 1.

Проведемо оптимізацію початкового плану за критерієм вартості реалізації експерименту. Вартості змін значень рівнів факторів наведені в табл. 2.

За допомогою прикладної програми, що реалізує розроблений алгоритм, синтезовано оптимальний за вартістю реалізації план експерименту. Матриця планування експерименту представлена в табл. 1.

Вартість реалізації експерименту за цим планом становить 21,36 ум. од., у той час як вартість початкового плану - 71,78 ум. од. Таким чином вартість реалізації експерименту у 3,36 рази більша порівняно з початковим планом. Результати, отримані за допомогою цього алгоритму, а також методами аналізу перестановок, випадкового пошуку й гілок та меж, наведено в табл. 3.

1. Початковий й оптимальний план проведення експерименту

| Номер досліджу | Початковий план | | | | | Номер досліджу | Оптимальний план | | | | |
|----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Позначення факторів | | | | | | Позначення факторів | | | | |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 |
| 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 4 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 10 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| 4 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 14 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| 6 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 11 | 1 | 0 | 1 | -1 | -1 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| 8 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 13 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| 9 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 8 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 | 15 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 11 | 1 | 0 | 1 | -1 | -1 | 16 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 12 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 18 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| 13 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 9 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 14 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 6 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 15 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 12 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| 16 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 3 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| 17 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 17 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| 18 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 2 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 |

2. Вартості змін значень рівнів факторів

| Зміна значень рівнів факторів | Вартість, ум. од | | | | |
|-------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Позначення факторів | | | | |
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ |
| 3 "-1" на "0" | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 "-1" на "+1" | 1,79 | 0,60 | 5,00 | 2,00 | 0,50 |
| 3 "0" на "-1" | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 "0" на "+1" | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 "+1" на "-1" | 1,25 | 0,40 | 3,00 | 1,00 | 0,50 |
| 3 "+1" на "0" | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

3. Порівняльний аналіз методів оптимізації

| Метод | Методи послідовного наближення | гілок і меж | аналізу перестановок | випадкового пошуку |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|----------------------|--------------------|
| Результат, ум. од. | 21,36 | 20,63 | 52,25 | 31,71 |
| Виграш, разів | 3,36 | 3,48 | 1,37 | 2,26 |
| Проаналізовано варіантів | 8037 | — | 2000000 | 2102569 |
| Час виконання, с | 0 | 2 | — | — |
| Обсяг пам'яті ЕОМ, Мбайт | 9,9 | 146,5 | — | — |

Таким чином, з табл. 3 видно, що в порівнянні з методами аналізу перестановок і випадкового пошуку метод послідовного наближення має більш високу швидкість виконання й дозволяє одержувати більші виграші. У порівнянні з методом гілок і меж метод послідовного наближення також має більш високу швидкість виконання завдання й вимагає значно менших обсягів пам'яті ЕОМ, хоча й небагато поступається.

Висновки. Розроблено алгоритм, що реалізує оптимізацію композиційних планів другого порядку методом послідовного наближення. На прикладі дослідження процесу приготування попкорну в мікрохвильовій печі показано ефективність застосування розробленого алгоритму. На підставі отриманих результатів був проведений порівняльний аналіз із наступними методами оптимізації: методу аналізу перестановок, випадкового пошуку і методу гілок і меж. У порівнянні з методами аналізу перестановок і випадкового пошуку метод послідовного наближення має більш високу швидкість виконання й дозволяє одержувати більші виграші, а в порівнянні з ме-

тодом гілок і меж метод послідовного наближення також має більш високу швидкість виконання завдання й вимагає значно менших обсягів пам'яті ЕОМ, хоча й небагато поступається в точності.

Список використаної літератури

1. Кошовий М. Д. Метод ітераційного планування оптимальних за вартісними і часовими затратам експериментів / М. Д. Кошовий, О. М. Костенко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2009. – Вип.19. – С. 44–48.
2. Кошовий М. Д. Застосування методу гілок і меж для оптимізації багатофакторних планів експерименту / М. Д. Кошовий, О. Л. Бурлеев, О. М. Костенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 4. – С. 45–47.
3. Кошовий М. Д. Експериментальне дослідження, моделювання та оптимізація гальванічного міднення печатних плат / М. Д. Кошовий, С. Г. Бестань, Г. К. Кожевников // Математичне моделювання. – 2001. – № 1 (6).

– С. 28–30.

4. Кошовий М. Д. Порівняльний аналіз методів оптимізації багатофакторних планів експерименту / Н.Д. Кошовий, О. Л. Бурлеев, О. М. Костенко // АСУ та прилади автоматизації. – 2010. – Вип. 150. – С. 60–64.

5. Андерсон М. Дж. Використання планування експерименту для попкорна, виготовленого в мікрохвильовці. Планування експерименту виявляє які фактори мають значення, як ні, а також допомагає знайти оптимальні їх оптимальні значення М. Дж. / Андерсон, Х. П. Андерсон // PI Quality, Липень/серпень 1993. – С. –3.

Отримано 18.05.2012

References

1. Koshevoi M. D. The method of iterative planning optimal for cost and time-consuming experiments / M. D. Koshevoi, O. M. Kostenko // Scientific Papers of the Military Institute of Kiev National Taras Shevchenko University. – Kiev: MIKNU, 2009. – Issue 19. – P 44–48 [in Ukrainian].

2. Koshevoi M. D. Application of branch and bound method for optimization of multifactor experimental designs / M. D. Koshevoi, O. L. Burleev, O. M Kostenko // Radio electronic and computer systems. – 2009. – № 4. – P. 45–47 [in Ukrainian].

3. Koshevoi M. D. Experimental investigation, modeling and optimization of galvanic copper plating of printed circuit boards / M. D. Koshevoi, S. G. Bestan, G. K. Kozhevnikov // Mathematical modeling. – 2001. – № 1(6). – P. 2–30 [in Ukrainian].

4. Koshevoi M. D. Comparative analysis of methods for optimizing multivariate experimental designs / M. D. Koshevoi, O. L. Burleev, O. M Kostenko // Radio electronic and computer systems. – 2010. – Issue 150. – p. p. 60-64. [in Ukrainian]

5. Anderson Mark J., Anderson Hank P. Applying DOE to Microwave Popcorn. Design of experiment identifies which factors matter and which ones don't, as well as helping find optimal settings / Anderson Mark J., Anderson Hank P. // PI Quality, July/August 1993. – 3 p. [in Ukrainian].



Кошовий
Микола Дмитрович,
д-р техн. наук, проф., зав.
каф. авіаційних приладів
і вимірювань Нац. аеро-
космічного уні-ту ім.
М.С.Жуковського «ХАІ»,
т. 057-788-43-03;
E-mail: kafedraa-
ri@rambler.ru.



Чуйко
Олексій Сергійович,
інженер 3-ої категорії
Нац. аерокосмічного ун-
ту ім. М. С. Жуковського
«ХАІ», т. 057-788-43-03;
E-mail: aleksey-
chuiko@gmail.com.



Костенко
Олена Михайлівна,
канд. техн. наук, доц.,
проректор з науково-
педагогічної і інновацій-
ної роботи Полтавської
державно аграрної ака-
демії,
т. (0532) 27-36-93; E-mail:
kostenko@pdaa.com.ua.