

УДК 519.24.001:631

Постнікова М.В., к.т.н., доц.

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

АЛГОРИТМ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ В ДИПЛОМНИХ РОБОТАХ МАГІСТРІВ

Анотація. При виконанні дипломних робіт магістрами пропонується застосовувати метод планування математичного експерименту (ПМЕ) при рішенні задач оптимізації об'єктів дослідження. Цей метод дозволяє одержати модель у вигляді рівняння регресії в результаті перебудови вихідної моделі об'єкта без проведення натурних експериментів, які вимагають великих витрат часу і засобів.

Ключові слова: математичний експеримент, фактори, матриця, перебудова математичної моделі, методологія, багатофакторний експеримент.

Постановка проблеми. Одним з найбільш важливих і поширених завдань, що зустрічаються в практиці наукових і інженерних досліджень як теоретичного, так і практичного характеру є завдання оптимізації об'єкта дослідження. Визначення найкращих умов, рішень, значень параметрів, рівнів факторів є в багатьох випадках основною метою вченого-дослідника, інженера-проектувальника та фахівців різного профілю.

Такого роду завдання виникають, наприклад, при:

- проектуванні різноманітних інженерних пристроїв, технологічного обладнання, приладів та інших виробів, коли потрібно підібрати таку комбінацію параметрів, яка б забезпечувала найвищі експлуатаційні характеристики проектного об'єкта;

- створенні нових зразків продукції, сплавів, сумішей, синтезі хімічних речовин, які мають найкращі властивості;

- керуванні різними технологічними процесами, агрегатами, установками і т.п., де необхідно забезпечити максимальну продуктивність при високій якості продукції і мінімальних енергетичних і матеріальних витратах, а також при інших областях дослідження.

При цьому для вирішення завдань оптимізації об'єктів застосовуються наступні методи:

- теоретичні методи оптимізації, що застосовуються в ситуаціях, де завдання повністю визначено з математичної точки зору і за своїм характером допускає застосування одного з відомих аналітичних методів оптимізації: диференціального або варіаційного дослідження, лінійного, цілочисельного або динамічного програмування і т.д.;

- методи експериментальної і статичної оптимізації, до яких відносяться спеціально розроблені еволюційні методи планування експерименту, що забезпечують знаходження оптимальних умов безпосередньо на виробничому об'єкті [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання статичної оптимізації об'єктів дослідження зазвичай вирішуються пошуковими методами, які відрізняються великою різноманітністю. До основних методів пошуку можна віднести: метод градієнта, метод найшвидшого спуску; його модифікацію - метод крутого сходження або Бокса-Уїлсона (градієнтні методи); метод Гаусса-Зейделя, метод симплексів; метод випадкового пошуку (безградієнтні методи). Пошукові методи докладно розглядаються в книгах по методам планування експерименту [2-8].

При розширенні завдань оптимізації широко застосовуються спеціальні математичні перетворення, що дозволяють отримати графічну та аналітичну інтерпретацію області оптимуму об'єкта дослідження. Зазвичай для цих цілей використовують так зване канонічне перетворення математичної моделі і метод двовимірних перерізів поверхні відгуку об'єкта.

Формулювання цілей статті. Пропонується алгоритм реалізації методу планування математичного експерименту при виконанні дипломних робіт магістрів.

Виклад основного матеріалу дослідження. За останній час підвищений інтерес з боку дослідників проявляється до так званого методу планування математичного експерименту (ПМЕ), що відрізняється високою ефективністю при вирішенні задач аналізу і синтезу об'єктів дослідження різної складності і фізичної природи [9].

Метод ПМЕ дозволяє отримати модель (1) у вигляді рівняння регресії в результаті перебудови вихідної моделі об'єкта без проведення натурних експериментів, що вимагають великих витрат часу і коштів [9]

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} b_{i,j} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2. \quad (1)$$

Послідовність реалізації методу ПМЕ при вирішенні задач оптимізації об'єктів дослідження може бути представлена у вигляді наступного алгоритму:

1. На початку має бути чітко сформульована задача або мета дослідження, відповідно до якого вибирається параметр оптимізації, що має фізичний зміст і визначається кількісно.

2. Потім формується вихідна математична модель об'єкта дослідження на підставі аналітичного огляду літератури, попередніх досліджень, даних довідників і каталогів по темі НДР. При цьому вихідна модель повинна являти собою одну формулу або набір формул, які визначають собою явний або неявний функціональний зв'язок обраного параметра оптимізації від ряду

факторів, що визначають, на думку дослідника, властивості параметра оптимізації.

3. Проводиться вибір основних факторів і інтервалів їх варіювання в фізичних і нормованих одиницях.

4. Вибираються тип плану і матриця планування математичного експерименту. Для вирішення завдань оптимізації зазвичай використовуються плани другого порядку: ОЦКП, РЦКП і D-оптимальні.

5. За вихідною математичною моделлю дослідження проводиться розрахункове визначення значень функції цілі, що вказані в рядках матриці плану, або параметра оптимізації $y(x)$ відповідно до значень і знаками факторів, зазначених у стовпчиках 2-11 матриці плану (таблиця 1), в тому числі і рівних 0, що відповідає базовим значенням факторів.

Таблиця 1

Матриця ОЦКП при трьох факторах для ЗАВ-20

№ стовбців	1	2	3	4	5	6	7	8	
Групи точок	g	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
N_ϕ	1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
	2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
	3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
	4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
	5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
	6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
	7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
N_α	9	+1	-1,215	0	0	0	0	0	0
	10	+1	+1,215	0	0	0	0	0	0
	11	+1	0	-1,215	0	0	0	0	0
	12	+1	0	+1,215	0	0	0	0	0
	13	+1	0	0	-1,215	0	0	0	0
	14	+1	0	0	+1,215	0	0	0	0
N_0	15	+1	0	0	0	0	0	0	0
N_ϕ	1	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	1,666	1,678
	2	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	0,5	0,748
	3	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	2,708	2,62
	4	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	0,813	0,962
	5	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	2,666	2,58
	6	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	0,8	0,954
	7	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	4,333	4,15
	8	+1	+1	+1	+0,27	+0,27	+0,27	1,3	1,356
N_α	9	+1,476	0	0	+0,746	-0,73	-0,73	2,341	2,363
	10	+1,476	0	0	+0,746	-0,73	-0,73	0,702	0,611
	11	0	+1,476	0	-0,73	+0,746	-0,73	1,215	1,146
	12	0	+1,476	0	-0,73	+0,746	-0,73	1,974	1,928
	13	0	0	+1,476	-0,73	-0,73	+0,746	1,227	1,158
	14	0	0	+1,476	-0,73	-0,73	+0,746	1,963	1,916
N_0	15	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	1,313	1,34

6. У відповідності з прийнятим планом математичного експерименту проводиться розрахунок значень коефіцієнтів рівняння регресії (1).

7. Потім для статичної оцінки значущості коефіцієнтів регресії визначається дисперсія відтворюваності $S_B^2\{y\}$ за величиною прийнятої допустимої помилки розрахунків 2-5 % (2).

$$S_B^2\{y\} = (3\sigma)^2 = (3 \cdot 0,02)^2 = 0,0036. \quad (2)$$

Після виключення з рівняння виду (1) доданків з незначущими коефіцієнтами, остаточно отримують розрахункове рівняння регресії $\hat{y} = f(x)$ с кінцевим числом членів.

8. За отриманим розрахунковим рівнянням регресії проводиться розрахунок через значень функції цілі \hat{y} в рядках по матриці прийнятого плану з урахуванням знаків і значень значущих факторів в стовпцях 1-10. Дані розрахунків \hat{y} наводяться в стовпці 12 матриці плану.

9. Потім по (3) визначається дисперсія адекватності $S_{ad}^2\{\hat{y}\}$ і по F -критерію Фішера перевіряється адекватність рівняння регресії, отриманого в результаті перебудови вихідної математичної моделі об'єкта дослідження.

$$S_{ad}^2\{\hat{y}\} = \frac{m}{N-d} \cdot \sum_{g=1}^N (y_g - \hat{y}_g)^2. \quad (3)$$

де y_g - середнє арифметичне значення функції відгуку в g -му рядку матриці плану;

\hat{y}_g - розрахункове значення функції відгуку, визначене за розрахунковим рівнянням для умов g -того досліджуваного плану експерименту;

d - число значущих коефіцієнтів, включаючи і b_0 або доданків в розрахунковому рівнянні регресії.

10. Після отримання адекватної математичної моделі об'єкта дослідження виду (1), зручного для вирішення завдань аналізу та оптимізації об'єкта необхідно визначити координати оптимуму (якщо він існує) і вивчити властивості поверхні відгуку в околицях оптимуму. Зазвичай для цих цілей застосовують один з ефективних методів аналітичного і графічного дослідження області оптимуму, що отримав назву канонічного перетворення математичної моделі об'єкта.

Висновок. Таким чином, реалізація методу планування математичного експерименту в дипломних роботах магістрів є підсумком самостійної дослідної роботи магістра.

Бібліографічний список.

1. Дэниел К. Применение статистики в промышленном эксперименте. М.: Мир, 1979. 301 с.
2. Асатурян В.И. Теория планирование эксперимента. М.: Радио и связь, 1983. 284 с.
3. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. К.: Вища школа, 1976. 183 с.
4. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер; под ред. Э.К. Цепкого. М.: Мир, 1977. 552 с.
5. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1971. 212 с.
6. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электромеханике. М.: Энергия, 1975. 184 с.
7. Новаковская З.Д. Применение методов планирования эксперимента для решения задач синтеза при проектировании шаговых двигателей. *Труды МЭИ*. М.: МЭИ, 1972, Вып. 138. С. 165-169.
8. Новаковская З.Д., Кулевская Е.Ф. Методология перестройки модели проектирования электрической машины в модель, приспособленную к решению задач синтеза по стандартным программам на ЦВМ. *Электромеханика: Изв. выс. учеб. завед.*, 1976, №12. С. 1395-1399.
9. Назарьян Г. Н., Постникова М.В., Карпова А.П. Решение задач оптимизации объектов исследования методом планирования математического эксперимента. Мелитополь: "Люкс", 2012. 68 с.
10. Постнікова М.В. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти: підрозділ 3.7 «Оцінка енергетичної ефективності робочих машин поточкових ліній очищення зерна». Колективна монографія / Кол. авторів; за заг. ред. П.М. Макаренка, О.В. Калініченка, В.І. Аранчій. Полтава: Аструя, 2019. 603 с.
11. Постнікова М.В., Карпова А.П. Оптимізація режимів роботи електромеханічних систем зерноочисних агрегатів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2017. Випуск 6 (107), частина 1. С. 15-20.

Postnikova M.V. Algorithm for the implementation of the method of planning a mathematical experiment in master's theses.

Summary. At implementation of the master's thesis, it is proposed to apply the method of planning a mathematical experiment (PME) in solving the problems of optimization of research objects. This method allows us to obtain a model in the form of a regression equation as a result of restructuring the original model of the object without conducting full-scale experiments, which require a lot of time and money.

Key words: mathematical experiment, factors, matrix, restructuring of the mathematical model, methodology, design of experiments.