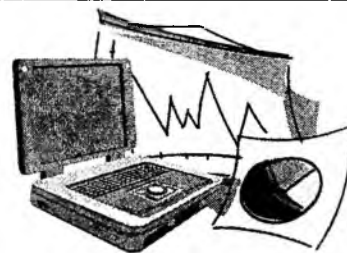


---

# ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ



УДК 65.011.56:681.3

Титюк В.К., Михайленко О.Ю., Мельник О.Є.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ПОШУКУ ГЛОБАЛЬНОГО ЕКСТРЕМУМУ

Досліджено використання алгоритму пошуку екстремуму методом бджолиного рою при оптимізації технологічних процесів.

*Ключові слова:* пошукова оптимізація, цільова функція, алгоритм бджолиного рою.

The use of maxima or minima search algorithm by bee swarm in optimization of technological processes is investigated.

*Keywords:* search engine optimization, objective function, the algorithm bee swarm.

Постановка задачі оптимального керування в математичній інтерпретації зводиться до відшукування екстремуму функції однієї або двох і більше змінних. Серед факторів, що ускладнюють розв'язок таких задач, можна виділити відсутність опису цільової функції аналітичною залежністю та наявність стохастичних складових. Створення та дослідження методів глобальної оптимізації функцій багатьох змінних є актуальною науковою проблемою.

Поширеними методами оптимізації функції багатьох змінних є градієнтні методи [1]. Однак вони погано пристосовані для пошуку глобального екстремуму при наявності декількох локальних екстремумів. Для рішення подібних задач запропоновано ряд алгоритмів випадкового пошуку (не спрямованого, спрямованого, спрямованого з самонавчанням) [2], генетичні та еволюційні алгоритми [3].

Новим генетичним алгоритмом пошуку є алгоритм бджолиного рою (в англійських публікаціях має назву Particle Swarm Optimization, Artificial Bee Colony Algorithm і Bees Algorithm). Основи методу та суть алгоритму викладено в [4, 5]. Однак у зазначених джерелах метод бджолиного рою розглядається з точки зору обчислювальної математики. У них не досліджуються особливості застосування запропонованого методу при керуванні технологічними процесами за умови обмеження на зміну керуючих впливів у вигляді системи лінійних нерівностей і наявності стохастичної складової, зумовленої похибками датчиків та вимірювальних приладів.

Метою роботи є програмна реалізація алгоритму пошуку глобального екстремуму методом бджолиного рою і дослідження впливу особливостей керування технологічним процесом на ефективність роботи цього методу.

Використання методу бджолиного рою базується на ідеях моделювання багатоагентних систем. Кожна бджола в рої розглядається як частинка або агент. Всі частинки рою діють індивідуально відповідно до спільного принципу: рухатися в напрямку найкращої персональної і глобальної позицій, постійно перевіряючи значення поточної позиції. Позиція бджоли є координатами в N-мірному просторі. Персональна найкраща позиція - це позиція з найбільшим значенням цільової функції, що виявлена

бджолою. Кожна бджола має власну персональну найкращу позицію. Глобальна найкраща позиція визначається як позиція з найбільшим значенням цільової функції, виявлена всім роєм. Інформація про значення глобальної найкращої позиції доступна кожній бджолі. Таким чином, рух кожної бджоли є компромісом між рухом в напрямках передбачуваного глобального максимуму і виявленого локального максимуму.

Для розробки і дослідження поведінки багатоагентної системи бджолиного рою було розроблено програми на мові Object Pascal та у середовищі MATLAB.

Встановлено, що на характер процесу пошуку впливає спосіб обробки ситуації, пов'язаної з виходом бджоли за допустимі межі. У розробленій програмі було реалізовано два варіанти обробки такої виняткової ситуації:

1. «Поглинаючі» межі - коли частка досягає межі простору рішень в одному з вимірів, швидкість в цьому вимірі обнуляється, межі поглинають енергію частинок, які намагаються визначити межі області пошуку.

2. «Відбивні» межі - коли частка досягає межі простору рішень в одному з вимірів, швидкість в цьому вимірі змінюється на протилежну, а частка продовжує рух усередині області пошуку.

В якості оцінки поточного стану процесу пошуку пропонується використовувати усереднене для рою значення евклідової відстані  $\varepsilon$  від кожної бджоли до центру ваги рою:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_j^i, \quad \varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_j^i - \bar{x}_j)^2}. \quad (1)$$

Результатом пошуку є глобальна найкраща позиція рою. Значення функції відгуку в цій точці по відношенню до відомого значенням глобального екстремуму визначає точність пошуку.

Для оцінки тривалості пошуку використовується кількість розрахунків функції відгуку, хоча цей показник непрямо характеризує витрати часу на пошук оптимального керування технологічним процесом.

Математичний експеримент проводився для двох різних функцій відгуку - для найпростішої параболи і функції Хіммельблау (рис. 1,2), що має в області пошуку 4 локальних рівнозначних максимуми. Для кожної функції відгуку встановлювався певний розмір бджолиного рою і проводилася серія експериментів, за результатами яких визначалися середні значення відносної помилки пошуку  $\delta$  і тривалість процесу пошуку. Тривалість пошуку визначалася як номер ітерації  $N$ , коли точність пошуку, визначена відповідно до (1), ставала менше заданого порогового значення, прийнятого рівним  $\varepsilon_0 = 0,5$

У табл.1. наведено результати експериментальних досліджень впливу методу обробки обмеження вхідних впливів технологічного процесу на показники пошуку.

Таблиця 1

## Результати експериментальних досліджень пошуку глобального екстремуму методом бджолиного рою

Довжина рою	Поглинання		Відбивання	
	Похибка пошуку, %	N	Похибка пошуку, %	N
3	7,66	256,38	6,96	244,81
5	1,2	467,4	1,35	487,22
8	0,01	733,45	0,02	809,55

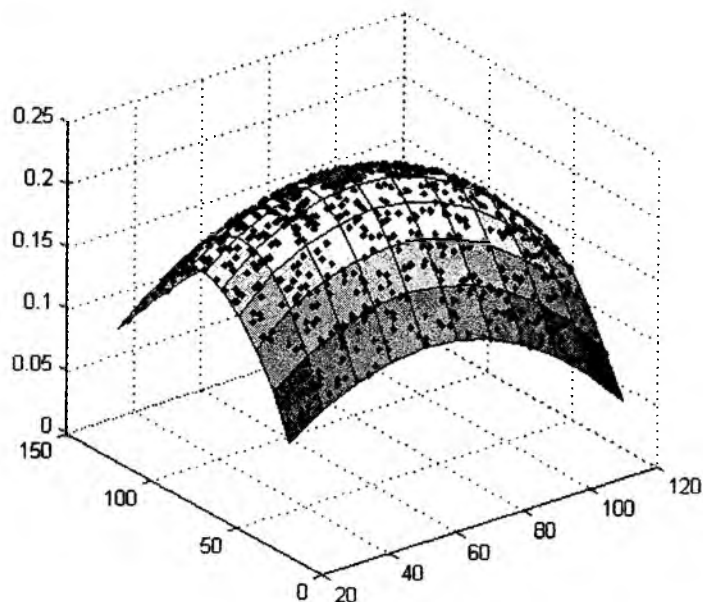


Рис. 1. Пошук по параболі

При збільшенні довжини рою прогнозовано підвищується точність пошуку з одночасним збільшенням його тривалості. При малих значеннях довжини рою спостерігалось «застрявання» рою, що супроводжувалося великими (до 15%) помилками процесу пошуку. Статистично достовірно вплив методу обробки наявності обмежень вхідних впливів встановити не вдалося. Наявність стохастичною складовою у функції відгуку технологічного процесу моделювалося додаванням рівномірно розподіленої випадкової величини змінної амплітуди. Наявність 10% шуму збільшує тривалість пошуку екстремуму приблизно на 60%. Однак наявність шуму не вплинуло на збіжності процесу пошуку в цілому.

Збільшення довжини рою супроводжується підвищенням точності пошуку з одночасним збільшенням тривалості процесу пошуку. Важливою перевагою розглянутого методу пошуку глобального екстремуму є його властивість зберігати працездатність на досить складних поверхнях відгуку, а також при наявності стохастичної складової у вимірюваному значенні функції відгуку. Не встановлено вплив характеру меж зміни управляючих впливів на показники процесу пошуку. Підвищити якість пошуку можливо Існують алгоритмічні резерви підвищення показників якості пошуку, якщо відома додаткова апіорна інформація про характер цільової функції оптимізується технологічного процесу.

#### Література:

1. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф.Гилл, У.Мюррей, М.Райт; пер. с англ. - М.: Мир, 1985. - 510 с.
2. Растрингин Л.А. Статистические методы поиска / Растрингин Л.А. - М.: Наука, 1968. - 376 с.
3. Holland J.N. Adaptation in Natural and Artificial Systems / Holland J.N. - Ann Arbor, Michigan: Univ. of Michigan Press, 1975. - 96 p.
4. Parsopoulos K.E. Recent approaches to global optimization problems through particle swarm optimization / Parsopoulos K.E., Vrahatis M.N. // Natural Computing: an international journal. - 2002. - Vol.1(2-3) - P.235-306.
5. The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimisation Problems D.T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koc, S. Otri, S. Rahim, M. Zaidi Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, Cardiff CF24 3AA, UK.

Рекомендовано до публікації  
д.е.н., проф. Дорофійенком В.В. 15.03.2012

Надійшла до редакції  
01.04.12