

Ю. А. Бендерук; В. І. Месюра, к. т. н., доц.

## ПІДБІР КОНСТАНТНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТОДУ РОЮ ЧАСТОК ЗА МЕТОДОМ ІМІТАЦІЇ ВІДПАЛУ ПІД ЧАС РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗПОДІЛУ ВИРОБНИЧОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*У статті розглянуто розв'язання задачі про розподіл виробничого навантаження за допомогою методу рою часток. Запропоновано використання методу імітації відпалу для підбору значень константних параметрів методу рою часток (коефіцієнтів соціалізації та персоналізації) під час розв'язання задачі про розподіл виробничого навантаження. За допомогою цього методу досягнуто результатів, що є кращими за результати класичних методів розв'язання задачі про розподіл виробничого навантаження.*

**Ключові слова:** задача про розподіл виробничого навантаження, метод рою часток, метод імітації відпалу.

### Вступ

На сучасному етапі розвитку науки існують задачі прикладного характеру, для яких поки що не знайдено ефективного методу знаходження оптимального розв'язку. У таких задачах доцільно використовувати евристичні інтелектуальні методи, які дозволяють за прийнятний час знайти розв'язок, близький до оптимального.

**Метою роботи** є демонстрація можливості застосування методу рою часток для розв'язання задачі про розподіл виробничого навантаження, а також демонстрація переваг, які надає підбір константних параметрів цього інтелектуального методу на основі іншого інтелектуального методу – методу імітації відпалу.

### Формулювання задачі про розподіл виробничого навантаження

Задачу про розподіл виробничого навантаження формулюють так: дано  $N$  заводів, кожен з яких випускає певну кількість деякого матеріалу. Ціну випуску  $p_i$  одиниць матеріалу на  $i$ -тому заводі визначають за формулою (1):

$$f_i = A_i p_i^2 + B_i p_i + C_i; i=1,2,\dots,N. \quad (1)$$

Випуск матеріалу на кожному заводі має задовольняти обмеження, показані у формулі (2):

$$pMin_i \leq p_i \leq pMax_i; i=1,2,\dots,N. \quad (2)$$

Необхідно випустити рівно  $s$  одиниць матеріалу, мінімізувавши при цьому загальні витрати.

У наведених вище формулах  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$ ,  $pMin_i$ ,  $pMax_i$  – деякі константи, що характеризують  $i$ -тий завод [1].

Така задача належить до класу задач нелінійного програмування.

### Метод рою часток і його застосування до задачі про розподіл виробничого навантаження

Метод рою часток – імітаційний інтелектуальний метод, який ґрунтується на імітації поведінки птахів або риб під час самонавчання [2].

На початку роботи алгоритму випадковим чином генерують популяцію часток, кожна з яких має швидкість, позицію у просторі розв'язків, а також функцію пристосованості [3]. Швидкість і позиція частки – це вектори, розмірність яких збігається з розмірністю простору пошуку розв'язків.

Після початкової ініціалізації відбувається ітеративний процес. На кожній ітерації для кожної частки перераховується її швидкість. Формула для перерахунку швидкості має такий вигляд:

$$v_i^{(j+1)} = v_i^{(j)} + c_1 * rand() * (pbest - current) + c_2 * rand() * (gbest - current); j = 1, 2, \dots, t - 1; i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

де  $v_i^{(j)}$  – значення  $i$ -ої координати вектора швидкості на  $j$ -ій ітерації,  $v_i^{(j+1)}$  – це ж значення на  $(j+1)$ -ій ітерації,  $c_1$  – значущість персонального складника,  $rand()$  – випадкова величина, рівномірно розподілена на відрізку  $[0;1]$ ,  $pbest$  – мінімальна функція пристосованості для цієї частки, що була досягнута під час ітеративного процесу,  $current$  – її поточна функція пристосованості,  $gbest$  – краща досягнута під час ітеративного процесу функція пристосованості серед усіх часток популяції,  $c_2$  – значущість соціального складника,  $t$  – кількість ітерацій. Константи  $c_1$  та  $c_2$  показують, наскільки частки орієнтуються на власні та глобальні досягнуті результати відповідно.

На основі зміненої швидкості частки перераховується також її позиція. До кожної координати вектора позиції частки додають відповідне значення координати вектора швидкості. Тобто правило перерахунку позиції є таким:

$$p^{(j+1)} = p^{(j)} + v; j = 1, 2, \dots, t - 1. \quad (4)$$

Після обрахунку нової позиції перераховують функцію пристосованості.

Є декілька критеріїв зупинки ітераційного процесу. Перший із них – вичерпання наперед визначеної кількості ітерацій. Другий – досягнення певної точності обрахунків.

Результат роботи алгоритму – краща (у термінах відповідної задачі) досягнута під час ітераційного процесу функція пристосованості [4].

Під час застосування методу рою часток до задачі про розподіл виробничого навантаження в якості позиції частки доцільно використати вектор, що містить інформацію про кількість матеріалу, яку виготовляє кожен завод. Функція пристосованості – сумарна ціна випуску необхідної кількості матеріалу.

#### Підбір константних параметрів методу рою часток на основі методу імітації відпалу

Значним недоліком методу рою часток є те, що підбір основних константних параметрів, а саме: коефіцієнтів соціалізації і персоналізації – для нього не є тривіальним завданням. Очевидним є факт, що від їхнього вибору суттєво залежать результати роботи алгоритму.

Жи-Ви Жан (Zhi-hui Zhan), Джун Жанг (Jun Zhang), Джун Лі (Yun Li) і Х. С. Х. Чунг (H. S. H. Chung) у [5] пропонують спочатку присвоїти коефіцієнту персоналізації деяке достатньо велике значення, а коефіцієнту соціалізації – деяке достатньо мале значення. Після цього вони пропонують експоненційно зменшувати коефіцієнт персоналізації й відповідно збільшувати коефіцієнт соціалізації.

Іншу ідею для зміни значень цих коефіцієнтів пропонують у [6] Асанга Ратнавера (Asanga Ratnaweera), Саман К. Халгамуг (Saman K. Halgamug) і Гарри С. Уотсон (Harry C. Watson). Вона полягає у зміні кожного коефіцієнту в залежності від номеру ітерації, загальної кількості ітерацій та значення двох інших наперед визначених констант.

Супія Южин (Supriya Ujjin) і Пітер Дж. Бентлі (Peter. J. Bentley) у [7] пропонують інший підхід до адаптації параметрів алгоритму методу рою часток. На початку роботи алгоритму коефіцієнтам соціалізації та персоналізації присвоюють деяке випадкове значення. У ході ітеративного процесу значення всіх коефіцієнтів збігаються до певного константного значення за експоненційним законом.

Можна зробити висновок, що ідеї підбору значень коефіцієнтів соціалізації і персоналізації на основі інших інтелектуальних методів приділено у тематичних статтях небагато уваги.

**Мета цієї статті** – показати можливість і доцільність використання такої комбінації двох

інтелектуальних методів. Пропонуємо підбирати константні параметри методу рою часток за допомогою методу імітації відпалу.

Метод імітації відпалу – інтелектуальний метод, що імітує фізичний процес кристалізації металу під час його охолодження. На початку роботи алгоритму випадковим чином генерують початковий розв'язок та задають початкове значення температури процесу. Надалі відбувається ітераційний процес, під час якого поточний розв'язок випадковим чином змінюється. Із певною ймовірністю відбувається перехід із поточного стану в новий згенерований стан. Цю ймовірність обраховують так:

$$P_j = \min\left(1, e^{-\frac{g(X_j) - f(X_j)}{T_j}}\right); j = 1, 2 \dots t - 1, \quad (5)$$

де  $P_j$  – шукане значення ймовірності на  $j$ -ій ітерації,  $g(X_j)$  – значення цільової функції в модифікованому розв'язку на  $j$ -ій ітерації,  $f(X_j)$  – значення цільової функції в початковому розв'язку на  $j$ -ій ітерації,  $T_j$  – поточне значення температури.

Після завершення кожної ітерації відбувається зміна температури. Нехай  $p$  – деяка константа, що належить інтервалу від нуля до одиниці виключно, тоді зміну температури описують так:

$$T_{j+1} = T_j p; j = 1, 2 \dots t - 1. \quad (6)$$

Результат роботи алгоритму – найкраще (у термінах відповідної задачі) досягнуте значення цільової функції.

Пропонуємо незалежно для кожної частки рою підбирати значення основних константних параметрів на основі методу імітації відпалу. Функцією пристосованості є поточне значення цільової функції (у задачі про розподіл виробничого навантаження – сумарна ціна випуску матеріалу). Початково ці параметри дорівнюють деякій рівномірно розподіленій випадковій величині з відрізка [1; 2]. Перехід із одного стану в інший відбувається шляхом додавання до поточного значення випадкової, рівномірно розподіленої величини з відрізка [-0.05; 0.05].

#### **Порівняння методу рою часток із підбором константних параметрів на основі методу імітації відпалу з іншими класичними методами розв'язання задачі розподілу виробничого навантаження**

Було проведено порівняння генетичного алгоритму, класичного методу рою часток, методу рою часток із підбором константних параметрів на основі методу імітації відпалу та інших трьох алгоритмів, в основі яких лежить адаптація параметрів методу рою часток (запропоновані Жи-Ви Жан (Zhi-hui Zhan) та ін., Асанга Ратнавера (Asanga Ratnaweera) та ін. і Супія Южин (Supiya Ujjin) та ін. відповідно). При цьому для всіх алгоритмів у якості вхідних даних було надано однакову кількість ітерацій (200) та однаковий розмір популяції (100).

Нехай  $M$  – кількість особин у популяції. Тоді складність генетичного алгоритму складає  $O(NtM^2)$ . Складність решти алгоритмів складає  $O(NtM)$ .

Для порівняння було використано випадкові набори вхідних даних, кожен параметр яких – рівномірно розподілена випадкова величина. Кількість заводів належала проміжку [0; 1000]. Параметри кожного заводу належали проміжку [0; 10000]. Загальний обсяг матеріалу також обирали випадковим чином, при чому так, щоб зберегти коректність вхідних даних. Алгоритми порівнювали на вибірках розміром 10, 20, 30 ... 100 тестових наборів. Критерій порівняння – середнє значення цільової функції (вартості випуску матеріалу в умовних грошових одиницях) для всіх тестів вибірки. Результат порівняння подано в таблиці 1.

Таблиця 1

**Результат порівняння класичного методу рою часток і методу рою часток із підбором константних параметрів на основі методу імітації відпалу**

Розмір вибірки	Результат генетичного алгоритму	Результат класичного методу рою часток	Результат методу рою часток із адаптацією параметрів, запропонованою Жи-Ви Жан (Zhi-hui Zhan) та ін.	Результат методу рою часток із адаптацією параметрів, запропонованою Асанга Ратнавера (Asanga Ratnaweera) та ін.	Результат методу рою часток із адаптацією параметрів, запропонованою Супія Южин (Supiya Ujjin) та ін.	Результат методу рою часток із підбором константних параметрів на основі методу імітації відпалу
10	1.0699*10 <sup>13</sup>	1.0679*10 <sup>13</sup>	1.0662*10 <sup>13</sup>	1.0661*10 <sup>13</sup>	1.0662*10 <sup>13</sup>	1.0658*10 <sup>13</sup>
20	1.0313*10 <sup>13</sup>	1.0195*10 <sup>13</sup>	1.0193*10 <sup>13</sup>	1.0195*10 <sup>13</sup>	1.0191*10 <sup>13</sup>	1.0189*10 <sup>13</sup>
30	9.7242*10 <sup>12</sup>	9.6936*10 <sup>12</sup>	9.6828*10 <sup>13</sup>	9.6826*10 <sup>13</sup>	9.6823*10 <sup>13</sup>	9.6823*10 <sup>13</sup>
40	1.1294*10 <sup>13</sup>	1.1102*10 <sup>13</sup>	1.1099*10 <sup>13</sup>	1.1109*10 <sup>13</sup>	1.1095*10 <sup>13</sup>	1.1093*10 <sup>13</sup>
50	1.1428*10 <sup>13</sup>	1.1419*10 <sup>13</sup>	1.1421*10 <sup>13</sup>	1.1425*10 <sup>13</sup>	1.1417*10 <sup>13</sup>	1.1413*10 <sup>13</sup>
60	1.1829*10 <sup>13</sup>	1.1557*10 <sup>13</sup>	1.1556*10 <sup>13</sup>	1.1552*10 <sup>13</sup>	1.1552*10 <sup>13</sup>	1.1551*10 <sup>13</sup>
70	1.1836*10 <sup>13</sup>	1.1757*10 <sup>13</sup>	1.1754*10 <sup>13</sup>	1.1753*10 <sup>13</sup>	1.1752*10 <sup>13</sup>	1.1751*10 <sup>13</sup>
80	1.1574*10 <sup>13</sup>	1.1497*10 <sup>13</sup>	1.1497*10 <sup>13</sup>	1.1498*10 <sup>13</sup>	1.1497*10 <sup>13</sup>	1.1491*10 <sup>13</sup>
90	1.1383*10 <sup>13</sup>	1.1271*10 <sup>13</sup>	1.1269*10 <sup>13</sup>	1.1273*10 <sup>13</sup>	1.1269*10 <sup>13</sup>	1.1265*10 <sup>13</sup>
100	1.0834*10 <sup>13</sup>	1.0832*10 <sup>13</sup>	1.0828*10 <sup>13</sup>	1.0829*10 <sup>13</sup>	1.0828*10 <sup>13</sup>	1.0827*10 <sup>13</sup>

Таблиця наочно демонструє, що метод рою часток із підбором константних параметрів на основі методу імітації відпалу показує результати, що не поступаються результатам алгоритмів-конкурентів на всіх десяти наборах тестових даних. Це пояснюється тим, що константні параметри визначаються не випадковим чином. За допомогою методу імітації відпалу було проведено впорядкований пошук таких значень коефіцієнтів соціалізації та персоналізації, що наближають результат роботи алгоритму до мінімуму.

### Висновки

У цій роботі показано можливість застосування методу рою часток до розв'язання задачі про розподіл виробничого навантаження. Запропоновано метод підбору константних параметрів методу рою часток на основі методу імітації відпалу, а також наведено результати, яких було досягнуто із використанням цього методу. Отримані результати свідчать про те, що запропонований метод є ефективнішим за конкурентні методи.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Leandro dos Santos Coelho. Solving production load dispatch problems in power systems using chaotic and Gaussian particle swarm optimization approaches / Leandro dos Santos Coelho, Chu-Sheng Lee // *Electrical Power and Energy Systems*. – December 2008. – № 30. – P. 297 – 307.
2. Девятков В. Системи штучного інтелекту / Володимир Девятков. – М.: Видавництво МГТУ ім. Баумана, 2001. – 352 с.
3. Trelea Ioan Cristian. The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection / Ioan Cristian Trelea // *Information Processing Letters*. – March 2003. – № 85. – P. 317 – 325.
4. Рассел Стюарт. Штучний інтелект. Сучасний підхід / Стюарт Рассел, Пітер Норвіг; пер. з англ. К. А. Птіцина. – М.: «Вільямс», 2006. – 1408 с.
5. Zhi-hui Zhan. Adaptive Particle Swarm Optimization / Zhi-hui Zhan, Jun Zhang // *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*. – December 2009. – Vol. 39. – № 6. – P. 1362 – 1381.
6. Ratnaweera A. Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimizer With Time-Varying Acceleration Coefficients / A. Ratnaweera, S. Halgamuge, H. C. Watson // *Evolutionary Computation, IEEE Transactions*. – June 2004. – Vol. 8. – № 3. – P. 240 – 255.

7. Supiya Ujjin. Particle Swarm Optimization Recommender System / Supiya Ujjin, Peter. J. Bentley // Swarm Intelligence Symposium, 2003. SIS '03. Proceedings of the 2003 IEEE. – April 2003. – P. 124 – 131.

**Бендерук Юлія Андріївна** – студентка інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

**Месюра Володимир Іванович** – к. т. н., доцент, професор кафедри комп'ютерних наук.  
Вінницький національний технічний університет.