

УДК 004.94; 517.9:519.6

Вадим Татенко^{1*}, <https://orcid.org/0009-0008-4869-9689>**Владислав Хайдуров**^{1,2}, канд. техн. наук, ст. досл., <https://orcid.org/0000-0002-4805-8880>¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський просп., 37, м. Київ, 03056, Україна;²Інститут загальної енергетики НАН України, Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна*Автор-кореспондент: allif0111@gmail.com

МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМІВ І МЕТОДІВ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МІНІМІЗАЦІЇ ВАГИ РЕДУКТОРА

Ключові слова: глобальна оптимізація, ройовий інтелект, моделювання складних об'єктів і систем, метод диференціальної еволюції, модель мінімізації ваги редуктора.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення модифікації алгоритмів і методів ройового інтелекту для прискорення одержання рішень конструкторських прикладних технічних завдань, які описуються оптимізаційними багатовимірними математичними моделями з різними за складністю функціональними обмеженнями на цільові функції.

Результати роботи. Застосування ройового інтелекту в науці та техніці включає різні галузі, такі як оптимізація, робототехніка, мережі передачі даних, і навіть машинне навчання. Наприклад, алгоритми оптимізації на основі ройового інтелекту можуть використовуватися для вирішення задач маршрутизації, пошуку оптимальних рішень у складних просторах параметрів або керування розподіленими системами.

В обчислювальній математиці кожна модифікація методу / алгоритму оптимізації передбачає роботу в кількох напрямках:

- 1) зменшення загальної кількості ітерацій для досягнення певної похибки. Позитивний ефект зменшення загальної кількості ітерацій призводить до зменшення загального процесорного часу розв'язання конкретної задачі або вирішення конкретного завдання. Це, у свою чергу, зменшує загальне навантаження на систему;
- 2) підвищення точності обчислень. Позитивний ефект від цього полягає у прискоренні збіжності методу / алгоритму оптимізації. Це ж, у свою чергу, знову призводить до зменшення кількості ітерацій, а значить – до зменшення процесорного часу, необхідного для вирішення поставленої задачі або розв'язання конкретного завдання.

У роботі пропонується кілька модифікацій описаних вище алгоритмів.

- 1) *Модифікація положення найгіршого елемента популяції в описаних вище алгоритмах і методах ройового інтелекту.* Найгірший елемент популяції x_j^{worst} замінити на усереднене положення елемента по всій популяції $x_j, \forall j \in \overline{1; M}$ за формулою:

$$x_j^{Average} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}, \forall j \in \overline{1; M},$$

де N – загальна кількість елементів у популяції, а M – розмірність простору пошуку. Такий підхід можна виконувати на кожній ітерації або періодично – кожні K ітерацій.

- 2) *Модифікація положення елементів популяції до найкращого з кроком h .* Оновлення кожного елемента популяції виконується за формулою:

$$x_{ij} = x_{ij} + h \cdot \frac{x_{Best,j} - x_{ij}}{\|x_{Best,j} - x_{ij}\|},$$

де x_{Best} – кращий вектор популяції за значенням цільової функції. Слід зазначити, що крок руху h можна

визначати пропорційно (за лінійним законом) околу популяції, яка збігатиметься з глобальним оптимумом з плином часу.

- 3) *Зміна гіперпараметрів методів / алгоритмів оптимізації.* Такий підхід передбачає зміну одного або кількох гіперпараметрів у процесі роботи програми. Наприклад, в алгоритмі диференціальної еволюції можна параметр F замінити на випадкове дійсне число у діапазоні від 0 до 2 через K ітерацій.

У методі диференціальної еволюції пропонується брати гіперпараметр F випадковим числом від 0 до 2 кожні K ітерацій. Це обумовлено тим, що на кожній ітерації метод знаходить ближчі значення до глобального оптимуму функції або функціоналу. Перевагою усіх класичних методів й алгоритмів ройового інтелекту є простота реалізації, а також можливість створювати нові інтелектуальні системи на основі вже відомих. Такі інтелектуальні системи працюватимуть швидше і точніше за вже існуючі. Здійснювати модифікацію методів й алгоритмів можна по-різному – не лише так, як описано вище.

Структура розробленого програмного забезпечення. Розроблено програмний комплекс для задач оптимізації, який включає в себе модуль головного вінка переходу до модулів розв'язання прикладних задач оптимізації.

Математична модель мінімізації ваги редуктора. Як було зазначено на початку в актуальності роботи, ройовий інтелект активно застосовується для знаходження розв'язків різних прикладних задач [1].

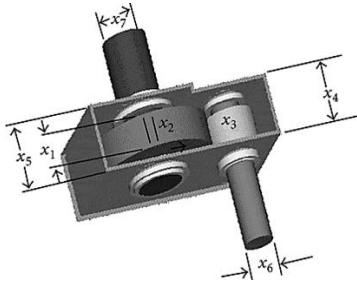


Рис. 1. Геометрія редуктора

У роботі розглядається модель мінімізації ваги редуктора, геометрія якого подана на рис. 1. У геометричній моделі маємо такі позначення:

- x_1 – ширина обшивки; x_2 – модуль колеса;
- x_3 – кількість зубів колеса (ціла змінна);
- x_4 – довжина першого вала між підшипниками;
- x_5 – довжина другого вала між підшипниками;
- x_6 – діаметр першого вала; x_7 – діаметр другого вала.

Математичне формулювання оптимізаційної задачі з урахуванням обмежень на вигини зубців колеса, поверхневої напруги, поперечні відхилення валів і напруги у валах подається так [1]:

$$f(x) = 0,7854x_1x_2^2(3,3333x_3^2 + 14,9334x_3 - 43,0934 - 1,508x_2(x_6^2 + x_7^2)) + 7,4777(x_6^3 + x_7^3) + 0,7854(x_4x_6^2 + x_5x_7^2) \rightarrow \min,$$

$$2,6 \leq x_1 \leq 3,6; \quad 0,7 \leq x_2 \leq 0,8; \quad 17 \leq x_3 \leq 28; \quad 7,3 \leq x_4 \leq 8,3;$$

$$7,8 \leq x_5 \leq 8,3; \quad 2,9 \leq x_6 \leq 3,9; \quad 5 \leq x_7 \leq 5,5.$$

$$g_1(x) = \frac{27}{x_1x_2^2x_3} - 1 \leq 0; \quad g_2(x) = \frac{397,5}{x_1x_2^2x_3^2} - 1 \leq 0; \quad g_3(x) = \frac{1,93x_4^3}{x_2x_3^2x_6^4} - 1 \leq 0;$$

$$g_4(x) = \frac{1,93x_5^3}{x_2x_3x_7^4} - 1 \leq 0; \quad g_5(x) = \frac{1}{110x_6^3} \sqrt{\left(\frac{745x_4}{x_2x_3}\right)^2 + 16,9 \cdot 10^6} - 1 \leq 0;$$

$$g_6(x) = \frac{1}{85x_7^3} \sqrt{\left(\frac{745x_5}{x_2x_3}\right)^2 + 157,5 \cdot 10^6} - 1 \leq 0; \quad g_7(x) = \frac{x_2x_3}{40} - 1 \leq 0; \quad g_8(x) = \frac{5x_2}{x_1} - 1 \leq 0;$$

$$g_9(x) = \frac{x_1}{12x_2} - 1 \leq 0; \quad g_{10}(x) = \frac{1,5x_6 + 1,9}{x_4} - 1 \leq 0; \quad g_{11}(x) = \frac{1,1x_7 + 1,9}{x_5} - 1 \leq 0.$$

Нижче у таблиці 1 наведено порівняльний аналіз одного з розглянутих методів і алгоритмів з відповідними модифікаціями, описаними у роботі вище. У таблиці 1 наведено кілька обчислювальних експериментів, які демонструють ефективність як класичного алгоритму глобальної багатовимірної оптимізації методом диференціальної еволюції, так і його модифікації. Таблиця 2 містить відповідні розв'язки задач для кожного з обчислювальних експериментів (екстремальна точка, яка містить 7 значень

координат). Глобальний мінімум $f(x^*) = 2996,348165$.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз класичного методу диференціальної еволюції та його модифікації (для класичного методу $F = 1$, для модифікованого $F = rand(0; 1)$)

Розмір популяції	Простір	К-сть ітерацій (класичний алгоритм [2])	К-сть ітерацій (модифікований алгоритм)	Результат цільової функції (класичний алгоритм)	Результат цільової функції (модифікований алгоритм)
150	7	43	12	2,986214e+3	2,966142e+3
150	7	34	21	2,986055e+3	2,995720e+3
150	7	41	27	2,991924e+3	2,996293e+3

Таблиця 2. Значення кращого значення функції та відповідних аргументів, які знайдені модифікованим методом

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
3,524129	0,7	17	7,352752	7,903315	3,359240	5,291292
3,570157	0,7	17	7,9303545	8,3	3,419805	5,287778
3,510148	0,7	17	7,3	7,812450	3,362408	5,290009

Висновки. У роботі досліджені три актуальні методи й алгоритми ройового інтелекту пошуку глобальних розв'язків задач, які подані в екстремальних постановках, метод диференціальної еволюції. Отримано три модифікації розглянутих методів й алгоритмів. Практичні результати роботи полягають у тому, що комплексне застосування трьох модифікацій для кожного методу / алгоритму дає переваги при зростанні розмірності пошуку в екстремальній задачі.

Посилання

1. Lin M.-H., Tsai J.-F., Hu N.-Z., Chang S.-C. Design Optimization of a Speed Reducer Using Deterministic. *Mathematical Problems in Engineering*. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/419043>
2. Miguel L. Enhancing Differential Evolution Algorithm for Solving Continuous Optimization Problems. 2013. P. 1—7. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-33466> (дата звернення: 16.05.2024).

MODIFICATION OF ALGORITHMS AND METHODS OF SWARM INTELLIGENCE FOR SOLVING THE PROBLEM OF MINIMIZING THE WEIGHT OF THE REDUCER

Vadym Tatenko^{1*}, <https://orcid.org/0009-0008-4869-9689>

Vladyslav Khaidurov^{1,2}, PhD (Engin.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-4805-8880>

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37, Beresteyskyi Prosp., Kyiv, 03056, Ukraine;

²General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., Kyiv, 03150, Ukraine

*Corresponding author: allif0111@gmail.com

Abstract. The work examines and modifies known effective methods and algorithms of swarm intelligence for finding solutions to multidimensional extreme problems with and without restrictions. The effectiveness of the modified methods on various classical and applied problems, which are used in the design of elements of complex objects and their systems, is demonstrated.

Keywords: global optimization, swarm intelligence, modeling of complex objects and systems, differential evolution method, reducer weight minimization model.