

УДК 004.94; 517.9:519.6

Микита Литовченко^{1*}, <https://orcid.org/0009-0001-6671-7763>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

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗВАРНОЇ БАЛКИ

Ключові слова: ройовий інтелект, задача оптимізації конструкції зварної балки, бджолиний алгоритм, алгоритм зграї кажанів, китовий алгоритм, глобальна оптимізація.

Мета роботи. Основна мета роботи полягає в огляді й аналізі сучасних алгоритмів ройового інтелекту для вирішення науково-прикладних технічних і конструкторських завдань, які описуються складними нелінійними моделями в оптимізаційній постановці з обмеженнями у вигляді функціональних рівнянь і нерівностей, а також у застосуванні таких алгоритмів до такого роду завдань.

Результати роботи. Ройовий інтелект, як і інші методи з відкритої природи, має суттєву актуальність в оптимізації складних систем [1–3], особливо в умовах сьогодення, коли дослідження зосереджені на знаходженні оптимальних рішень у великих і складних просторах. Ройовий інтелект ефективно розв'язує прикладні задачі глобальної оптимізації там, де потрібно знаходити найкращі рішення великого обсягу даних зі складними функціональними залежностями. Системи, які описуються нелінійними залежностями, можуть бути складними для оптимізації традиційними методами й алгоритмами глобальної багатовимірної оптимізації. Слід зазначити, що алгоритми і методи ройового інтелекту швидко адаптуються до змін у середовищі або вимог завдання, що робить їх потужним інструментом для оптимізації складних систем у змінних умовах. У даній роботі розглядаються завдання пошуку глобального мінімуму задач з обмеженнями у вигляді функцій, а також алгоритми їх пошуку.

Бджолиний алгоритм [1]. Метод оптимізації медоносних бджіл, який ще називають бджолиним алгоритмом, починається з визначення розміру популяції та кількості бджіл, що будуть займатися пошуком локального розв'язку оптимізаційної задачі, як це відбувається у медоносних бджіл, коли бджоло-розвідники повертаються у вулик та «розповідають» іншим бджолам-працівникам про якість знайденого джерела пилку. Початкова популяція створюється завдяки генерації випадкових значень на визначеному межах просторі рішень.

Алгоритм зграї кажанів [1, 3]. Алгоритм зграї кажанів був натхнений природою ехолокаційних здібностей мікрокажанів, бо зазвичай великі кажани не мають такої здібності. Ехолокацію мікрокажани використовують для пошуку здобичі та орієнтування у просторі під час полювання за здобиччю, що в нашому випадку може бути використано для пошуку оптимального розв'язку з певного простору. Для алгоритму було виведено деякі константи з природи ехолокації мікрокажанів, такі як: частота звукових імпульсів f , довжина хвилі ультразвукових імпульсів λ та швидкість звуку у повітрі v . Проте ці параметри залежні за формулою $\lambda = v / f$, тому для кожного кажана значення цих параметрів різне, тобто маємо вектори розмірності n , де кожен елемент вектора – це значення для окремого кажана. Для переміщення кажанів у просторі рішень використовуються відповідні формули, а для локального пошуку рішення застосовують вже іншу формулу, у якій використовується не конкретне значення гучності ультразвукового імпульсу, а середня гучність по всіх кажанах на поточній ітерації.

Китовий алгоритм [2]. Алгоритм оптимізації китів черпає натхнення з природи полювання горбатих

китів. Для вполювання зграї маленьких риб кити пускають бульбашки та рухаються по спіралі для того, щоб загнати здобич у вузьке місце ближче до поверхні води, де й атакують її. Оскільки оптимальне рішення у просторі рішень зазвичай не є відомим, то алгоритм китів припускає, що найкращий кандидат з найкращим результатом є здобиччю. Після визначення найкращого пошукового агента (кита) інші агенти намагаються оновити своє розташування у напрямку визначеної позиції найкращого агента.

Процес оптимізації можна розділити на два етапи: метод атаки бульбашковою сіткою (фаза експлуатації); пошук здобичі (фаза розвідки).

Фаза експлуатації поділяється на наступні два кроки:

- 1) *Зменшувально-оточувальний механізм*. Цей механізм досягається завдяки зменшенню значення одного з параметрів алгоритму. Завдяки цьому нова позиція пошукового агента може бути визначена будь-де між поточною позицією агента та позицією кращого агента на ітерації.
- 2) *Спіральне оновлення позиції*. Така поведінка досягається завдяки рівнянню, що імітує гвинтоподібний рух горбатих китів.

У фазі пошуку здобичі пошукові агенти шукають її випадково. На відмінну від фази експлуатації, в цій фазі рух відбувається до випадково обраного пошукового агента, а не до кращого. Цей рух відбувається в обох напрямках – до та від еталонного кита (пошукового агента).

Коротко описані вище алгоритми ройового інтелекту були застосовані до задачі про пошук оптимальної конструкції зварної балки.

Задача оптимізації конструкції зварної балки [3]. Математичне формулювання задачі наведено нижче. Потрібно знайти глобальний мінімум функції виду:

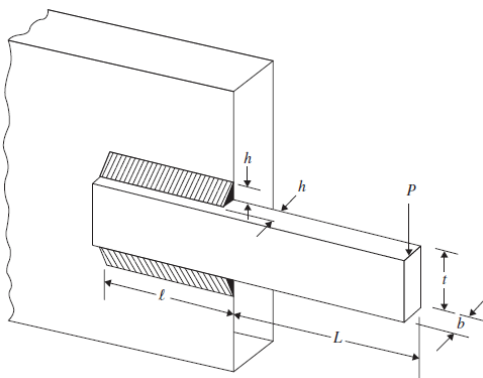


Рисунок. Вигляд зварної балки

де

$$f(X) = 1,10471x_1^2 + 0,04811x_3x_4(14 + x_2) \rightarrow \min.$$

Обмеження на цільову функцію виглядають так:

$$\begin{aligned} \tau(X) - \tau_{max} &\leq 0; \sigma(X) - \sigma_{max} \leq 0; x_1 - x_4 \leq 0; \\ 0,10471x_1^2 + 0,04811x_3x_4(14 + x_2) - 5 &\leq 0; \\ 0,125 - x_1 &\leq 0; \delta(X) - \delta_{max} \leq 0; P - P_c(X) \leq 0 \\ 0,1 \leq x_i &\leq 2, i = 1; 4; 0,1 \leq x_i \leq 10, i = 2; 3; \end{aligned}$$

$$\tau(X) = \sqrt{(\tau')^2 + 2\tau'\tau''\frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2};$$

$$\tau' = \frac{P}{\sqrt{2}x_1x_2}, \tau'' = \frac{MR}{J}, M = P\left(L + \frac{x_2}{2}\right),$$

$$R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2}\right)^2}; J = \frac{2x_1x_2}{\sqrt{2}} \left[\frac{x_2^2}{12} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2}\right)^2 \right];$$

$$\sigma(X) = \frac{6PL}{x_4x_3^2}; \delta(X) = \frac{4PL^3}{Ex_3^3x_4}; P_c(X) = \frac{4,013\sqrt{EG(x_3^2x_4^6/36)}}{L^2} \left(1 - \frac{x_3}{2L} \sqrt{\frac{E}{4G}} \right).$$

Результати тестування на прикладній задачі для всіх алгоритмів подаються у табл. 1. Тестування проводилось на персональному комп'ютері, який має процесор Intel Core I3. Кількість запусків програми з реалізацією розглянутих трьох методів дорівнює десяти.

Табл. 1. Результати оптимізації параметрів конструювання зварної балки

Алгоритм	Змінні конструкції				$f(X)$
	x_1	x_2	x_3	x_4	
Бджолиний	0,2443	6,2177	8,2915	0,2443	2,3811
Кажанів	0,2445	6,2177	8,2915	0,2444	2,3810
Китів	0,2444	6,2177	8,2914	0,2443	2,3811

Оптимальний розв'язок поставленої задачі подається у вигляді точки:

$$X^* = (0,2444; 6,2177; 8,2915; 0,2444), f^* = 2,3810.$$

Усі алгоритми тестувалися на різного роду тестових функціях для знаходження глобального екстремуму, що відносяться до задач глобальної багатовимірної однокритеріальної оптимізації, та на задачах інженерного спрямування для знаходження оптимальних значень параметрів для задачі оптимальної конструкції зварної балки.

Висновки. У роботі було проаналізовано три алгоритми ройового інтелекту: бджолиний алгоритм, алгоритм зграї кажанів та алгоритм китів. Розглянуті й описані алгоритми тестувалися на різного роду тестових функціях для знаходження глобального екстремуму, що відносяться до задач глобальної багатовимірної однокритеріальної оптимізації, і на різних прикладних інженерно-технічних задачах.

Посилання

1. Pham D., Ghanbarzadeh A., Koç E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimisation Problems. *Intelligent Production Machines and Systems*. 2006. P. 454—459. <https://doi.org/10.1016/B978-008045157-2/50081-X>
2. Mirjalili S., Lewis A. The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*. 2016. Vol. 95. P. 51—67. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>
3. Rao S. S. Engineering Optimization: Theory and Practice. Fourth Edition, 2009. <https://doi.org/10.1002/9780470549124>

APPLICATION OF SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS FOR SOLVING THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE WELDED BEAM STRUCTURE

Mykyta Lytovchenko^{1*}, <https://orcid.org/0009-0001-6671-7763>

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, Beresteiskyi 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 considered applied and common functional problems of mathematical global single-criteria optimization. Three optimization algorithms were proposed for testing, namely: Bee algorithm, bat swarm algorithm, whale algorithm. As a result, it was presented how different algorithms coped with the applied problem of finding optimal values of design parameters for modeling a welded beam.

Keywords: swarm intelligence, welding beam design optimization problem, bees algorithm, bats swarm algorithm, whales algorithm, global optimization.