

# Модифікований метод імітації відпалу

Магістерська кваліфікаційна робота

Виконав: ст. групи 1AKIT-19м  
**Жиром Микола Володимирович**

Керівник: К.Т.Н., доц.  
**Іванов Юрій Юрійович**

Кафедра автоматизації та інтелектуальних  
інформаційних технологій ФКСА



[vntu.edu.ua](http://vntu.edu.ua)



Вінниця, 2020

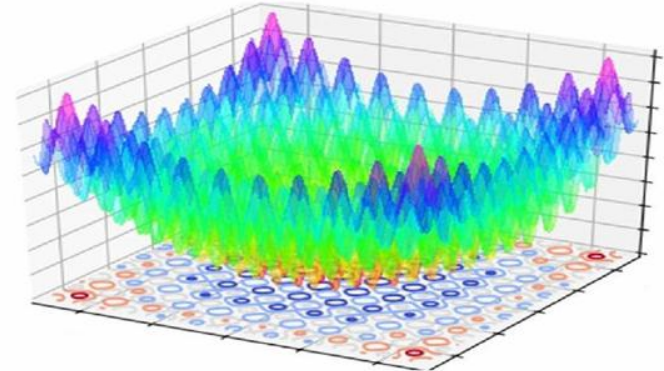
# Актуальність теми дослідження

---

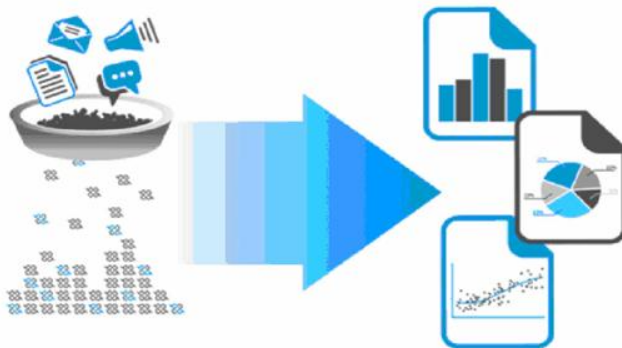
**Аналіз даних**



**Задачі оптимізації**



**Обробка даних**



**Системи автоматичного управління**



# Вступ

---

**Метою роботи** є підвищення ефективності розв'язання задачі неперервної оптимізації функції від багатьох змінних методом імітації відпалу за рахунок використання змішаного температурного режиму.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

1. **Проаналізувати** особливості метаевристичних алгоритмів оптимізації.
2. **Модифікувати** математичну модель методу імітації відпалу.
3. **Розробити** програмні засоби та оцінити ефективність роботи методу.

**Об'єктом дослідження** є оптимізація функції від багатьох змінних.

**Предметом дослідження** є моделі, методи та інструментальні засоби для розв'язання задачі неперервної оптимізації функції від багатьох змінних.

**Методи дослідження.** У роботі використано поняття теорії оптимізації та обчислювального інтелекту під час дослідження роботи методу імітації відпалу у ході розв'язання задачі оптимізації багатоекстремальної функції. Для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень застосовано експериментальне дослідження.

# Математична постановка задачі оптимізації

**Задача:** знайти значення аргументів  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) із множини  $\Omega$  (простір пошуку, безумовна оптимізація), при яких цільова функція  $f(x)$  набуває абсолютного оптимуму (мінімуму):

$$f(x) \rightarrow \text{extremum (max, min)}, x \in \Omega = \{-\infty; +\infty\}. \quad (4.1)$$

**Особливості комплексних задач оптимізації:** нелінійність, велика розмірність простору пошуку, багатоекстремальність та багатокритеріальність тощо.

**Вибір методу:** якщо задачу не можна розв'язати детермінованими методами, застосовують метаевристики (стохастична оптимізація), які часто дозволяють знайти хороші рішення.

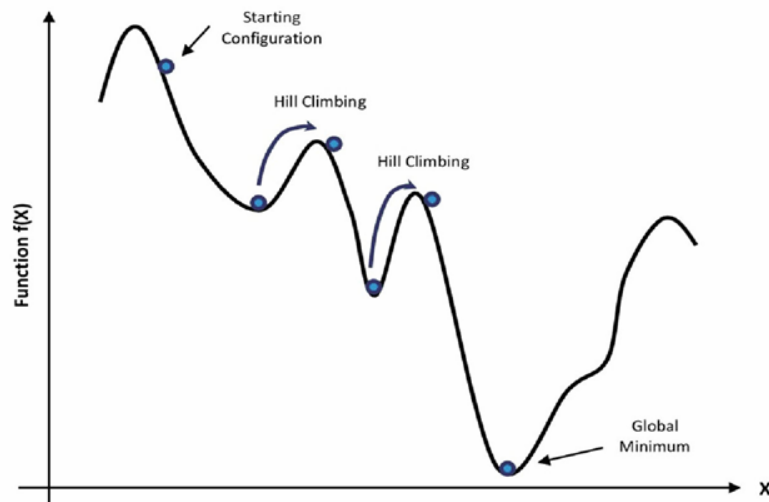


Рисунок 4.1 – Приклад роботи метаевристики

# Модифікований метод імітації відпалу

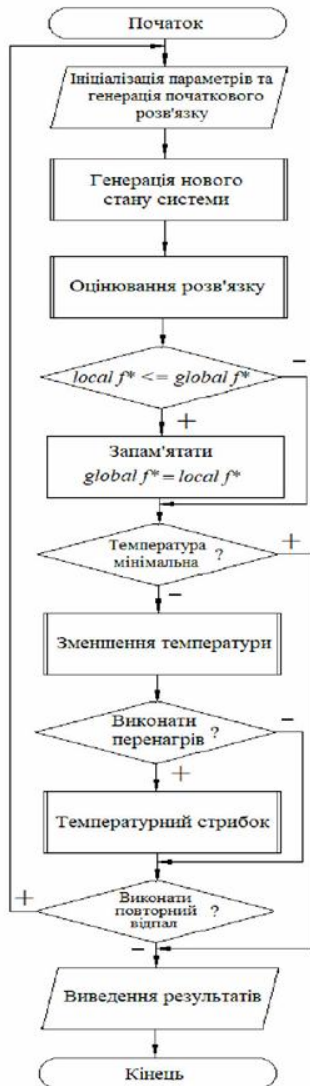


Рисунок 5.1 – Схема імітації відпалу

1. Задати початкові значення глобальних параметрів алгоритму.
2. Згенерувати  $n$ -вимірний вектор аргументів  $x$  цільової функції  $f$ .
3. Обчислити початкове значення цільової функції  $f(x)$ .
4. Отримати приріст аргументу – випадковий вектор  $\Delta x$ .
5. Знайти рішення-кандидат та енергетичну різницю:

$$\bar{x} = x + \Delta x, \quad (5.1)$$

$$\Delta E = E(\bar{x}) - E(x) = f(\bar{x}) - f(x). \quad (5.2)$$

6. Використати ймовірнісне правило прийняття рішення для пошуку мінімуму ( $k_b$  – константа,  $T$  – поточна температура):

$$x_{new} = \begin{cases} \bar{x}, & \text{якщо } \Delta E \leq 0; \\ \bar{x}, & \text{якщо } \Delta E > 0 \text{ та } rand(0,1) \leq \exp\left(-\frac{\Delta E}{k_b \cdot T}\right); \\ x, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (5.3)$$

7. Якщо нове значення  $f(x_{new})$  не більше за старе найкраще рішення, то запам'ятати його глобально найкращим  $x^* \approx x, f(x^*) = f(x)$ .
8. Використати запропонований температурний режим  $T_{mode}$ .
9. Вивести глобально найкращий результат  $f(x^*)$ .

# Модифікований метод імітації відпалу

Таблиця 6.1 – Температурний режим

Температурний режим $T_{mode}$	
T0 – Повторний відпал	Якщо виконано <i>limit ітерацій</i>
T1 – Періодичний нагрів	Закон: $T_{i+1} = a \cdot T_i$ Параметр: $a = 2.8$ Нагрів, якщо $T_{re-heat} = 0.2$ і $steps = 400 \dots 1000$
T2 – Швидкий відпал	Закон: $T_{i+1} = T_i \cdot \exp(c \cdot i^{1/d})$ Параметри: $c = -0.1$ ; $d = 100$ ; Режим охолодження

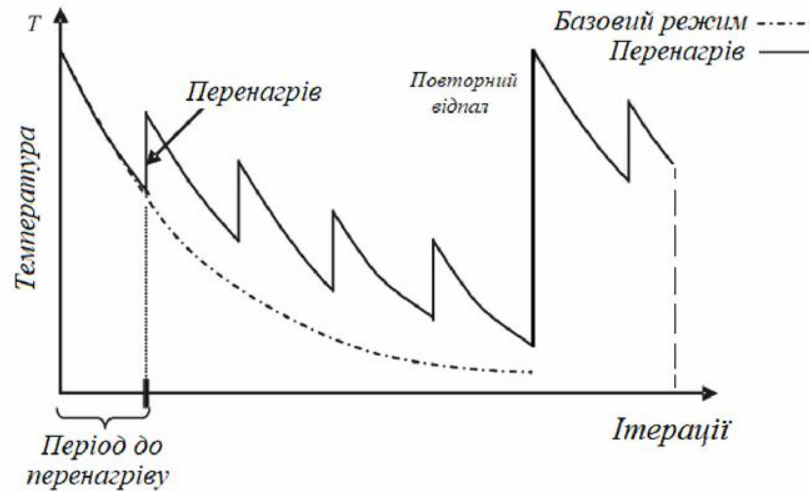
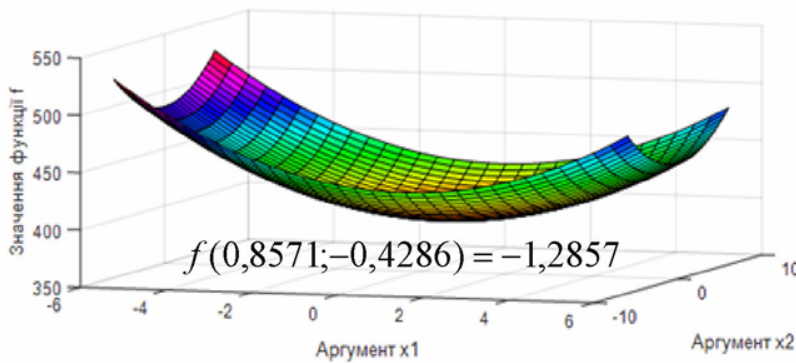


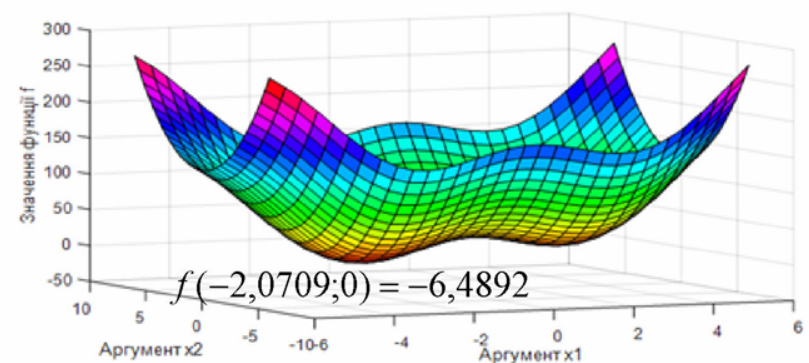
Рисунок 6.1 – Графічне відображення температурного режиму

# Експерименти

**Параметри експериментів:** набір тестових функцій; початковий  $n$ -вимірний вектор аргументів функції; початкова температура  $T_{max}$ ; константа Больцмана  $k_b$ ; запропонований температурний режим (коефіцієнт нагріву  $a = 2,8$ ; температурна межа  $T_{re-heat} = 0,2$ ; повторення найкращого значення функції  $steps = 100 \dots 2000$ ; параметри швидкого відпалу  $c = -0,1$ ;  $d = 100$ ; кількість повторних відпалів  $h = 2 \dots 10$ ); критерій зупинки: максимальна кількість ітерацій  $N$ .



$$f(x) = 2x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2 - 3x_1$$



$$f(x) = 3x_1^2 + 4x_2^2 + 23 \cos(x_1 - 0,5)$$

Рисунок 7.1 – Поверхні тестових функцій

# Результати експериментів

Таблиця 8.1 – Результати роботи програми

Початкова точка	Параметри методу					Результати обчислень			
	$N$	$k_b$	$T_{\max}$	$steps$	$h$	$f(x_{SA}^*)$	$\Delta$	$f(x_{mod}^*)$	$\Delta$
$x = (x'_1, x'_2)^T$									
(-500; 500)	10000	0,85	1000	2000	5	-1,2857	0,0000	-1,2857	0,0000
(-500; 500)	10000	0,85	1000	1000	10	-1,2857	0,0000	-1,2857	0,0000
(-15; 0)	1000	0,85	100	200	3	-1,2826	0,0031	-1,2826	0,0031
(-150; 48)	1000	0,85	1000	500	10	3,1226	4,4083	-1,2857	0,0000
(-150; 48)	2000	0,85	100	200	10	29,6393	30,9250	-1,2857	0,0000
(-10; 10)	3000	0,85	100	600	5	-1,2838	0,0019	-1,2857	0,0000
Середня абсолютна похибка						5,889717		0,000517	
$x = (x'_1, x'_2)^T$									
(120; -80)	$10^3$	0,88	50	200	6	-6,4874	0,0018	-6,4892	0,0000
(7; 1)	300	0,88	15	150	5	8,1942	14,6834	-6,4892	0,0000
(7; 1)	$10^4$	0,88	15	1000	2	-6,4882	0,0010	-6,4892	0,0000
(-17; 1)	$10^1$	0,88	150	500	6	-6,4892	0,0000	-6,4892	0,0000
(0; 0)	500	0,85	10	125	5	-6,4303	0,0589	-6,4892	0,0000
Середня абсолютна похибка						2,94902		0,0000	

1. Отримано глобальний оптимум майже в усіх експериментах. Для 1-ої функції середня абсолютна похибка менша на 5,8892 одиниць, а для 2-ої – на 2,94902 одиниці, що пояснюється специфічним температурним режимом.

2. Необхідно ефективно формувати політику вибору параметрів, оскільки більшість із них знаходиться експериментально.

3. У деяких випадках необхідно виконати велику кількість ітерацій та затратити досить багато часу на пошук розв'язку.



# Економічні показники розробки

---

Таблиця 9.1 – Результати економічного розділу

Показники	Задані у технічному завданні	Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі	Висновок
1. Витрати на розробку методу	не більше 50 тис. грн.	49 тис. грн.	Виконано
2. Абсолютний ефект від впровадження розробки, тис. грн.	не менше 250 тис. грн. за рік	257 тис. грн. впродовж кожного із 4-ох років	Виконано
3. Внутрішня норма дохідності інвестицій, %	не менше 60%	68%	Виконано
4. Термін окупності інвестицій, роки	до 3-х років	1,47 років	Виконано

# Висновки

---

1. **Аналіз показав**, що для розв'язання комплексних задач оптимізації з великою розмірністю простору пошуку та складністю цільової функції можна використовувати метод імітації відпалу, який представляє собою гнучку та ефективну метаевристику.
2. **Запропоновано** модифікацію методу імітації відпалу, яка базується на використанні змішаного температурного режиму, що дозволяє виконати більш ретельний аналіз області пошуку та уникнути застрягання у локальному оптимумі.
3. **Розроблено** програмне забезпечення, яке дозволяє дослідити ефективність роботи методу імітації відпалу під час оптимізації різних тестових функцій.
4. **Визначено**, що запропоновану модифікацію можна успішно використовувати для розв'язання комплексних задач оптимізації.
5. **Аналіз комерційного потенціалу** програмного забезпечення показав, що розробка є перспективною.

# Основні результати дослідження

---

**Наукова новизна:** полягає у тому, що запропоновано модифікацію методу імітації відпалу, особливістю якої є використання змішаного температурного режиму, що дозволяє підвищити точність розв'язання задачі безумовної неперервної оптимізації функції від багатьох змінних.

**Практична цінність:** математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення дає можливість дослідити вплив параметрів методу імітації відпалу на ефективність його роботи у ході розв'язання задач оптимізації.

**Апробація:** за результатами роботи опубліковано тези доповіді на XLIX науково-технічній конференції Факультету комп'ютерних систем і автоматики (м. Вінниця, 2020).

**Впровадження:** результати роботи можуть бути використані на практиці та в навчальному процесі, що підтверджено довідкою про можливість впровадження розробок.

**Дякую за увагу !**