

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет України «Київський політехнічний**  
**інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**  
  
**Кафедра інформатики та програмної інженерії**

**Звіт**

з лабораторної роботи № 4 з дисципліни  
«Проектування алгоритмів»

**„Проектування і аналіз алгоритмів для вирішення NP-складних задач ч.1”**

**Виконав(ла)**

ІП-12 Кириченко Владислав Сергійович

(шифр, прізвище, ім'я, по батькові)

**Перевірів**

Сопов О.О.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Київ 2022

## ЗМІСТ

<b>1</b>	<b>МЕТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ЗАВДАННЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ВИКОНАННЯ .....</b>	<b>10</b>
3.1	ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ .....	10
3.1.1	<i>Вихідний код .....</i>	<i>10</i>
3.1.2	<i>Приклади роботи .....</i>	<i>13</i>
3.2	ТЕСТУВАННЯ АЛГОРИТМУ .....	13
3.2.1	<i>Значення цільової функції зі збільшенням кількості ітерацій ..</i>	<i>13</i>
3.2.2	<i>Графіки залежності розв'язку від числа ітерацій .....</i>	<i>14</i>
	<b>ВИСНОВОК .....</b>	<b>15</b>
	<b>КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ .....</b>	<b>15</b>

## 1 МЕТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Мета роботи – вивчити основні підходи формалізації метаевристичних алгоритмів і вирішення типових задач з їхньою допомогою.

## 2 ЗАВДАННЯ

Згідно варіанту, розробити алгоритм вирішення задачі і виконати його програмну реалізацію на будь-якій мові програмування.

Задача, алгоритм і його параметри наведені в таблиці 2.1.

Зафіксувати якість отриманого розв'язку (значення цільової функції) після кожних 20 ітерацій до 1000 і побудувати графік залежності якості розв'язку від числа ітерацій.

Зробити узагальнений висновок.

Таблиця 2.1 – Варіанти алгоритмів

№	Задача і алгоритм
1	Задача про рюкзак (місткість $P=250$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 20 (випадкова), вага від 1 до 10 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування одноточковий по 50 генів, мутація з ймовірністю 5% змінюємо тільки 1 випадковий ген). Розробити власний оператор локального покращення.
2	Задача комівояжера (100 вершин, відстань між вершинами випадкова від 5 до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 4$ , $\rho = 0,4$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 30$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).
3	Задача розфарбовування графу (200 вершин, степінь вершини не більше 20, але не менше 1), бджолиний алгоритм ABC (число бджіл 30 із них 2 розвідники).
4	Задача про рюкзак (місткість $P=200$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 20 (випадкова), вага від 1 до 10 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування двоточковий порівну генів, мутація з ймовірністю 10% змінюємо тільки 1 випадковий ген). Розробити

	власний оператор локального покращення.
5	Задача комівояжера (150 вершин, відстань між вершинами випадкова від 5 до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 3$ , $\rho = 0,4$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 35$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).
6	Задача розфарбовування графу (250 вершин, степінь вершини не більше 25, але не менше 2), бджолиний алгоритм ABC (число бджіл 35 із них 3 розвідники).
7	Задача про рюкзак (місткість $P=150$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 10 (випадкова), вага від 1 до 5 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування рівномірний, мутація з ймовірністю 5% два випадкові гени міняються місцями). Розробити власний оператор локального покращення.
8	Задача комівояжера (200 вершин, відстань між вершинами випадкова від 0(перехід заборонено) до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 3$ , $\beta = 2$ , $\rho = 0,3$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 45$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).
9	Задача розфарбовування графу (150 вершин, степінь вершини не більше 30, але не менше 1), бджолиний алгоритм ABC (число бджіл 25 із них 3 розвідники).
10	Задача про рюкзак (місткість $P=150$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 10 (випадкова), вага від 1 до 5 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування рівномірний, мутація з ймовірністю 10% два випадкові гени міняються місцями). Розробити власний оператор локального покращення.
11	Задача комівояжера (250 вершин, відстань між вершинами випадкова від 0(перехід заборонено) до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 4$ , $\rho =$

	0,6, Lmin знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 45$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).
12	Задача розфарбовування графу (300 вершин, степінь вершини не більше 30, але не менше 1), бджолиний алгоритм ABC (число бджіл 60 із них 5 розвідники).
13	Задача про рюкзак (місткість $P=250$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 30 (випадкова), вага від 1 до 25 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування одноточковий 30% і 70%, мутація з ймовірністю 5% два випадкові гени міняються місцями). Розробити власний оператор локального покращення.
14	Задача комівояжера (250 вершин, відстань між вершинами випадкова від 1 до 40), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 4$ , $\beta = 2$ , $\rho = 0,3$ , Lmin знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 45$ (10 з них дикі, обирають випадкові напрямки), починають маршрут в різних випадкових вершинах).
15	Задача розфарбовування графу (100 вершин, степінь вершини не більше 20, але не менше 1), класичний бджолиний алгоритм (число бджіл 30 із них 3 розвідники).
16	Задача про рюкзак (місткість $P=250$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 30 (випадкова), вага від 1 до 25 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування двоточковий 30%, 40% і 30%, мутація з ймовірністю 10% два випадкові гени міняються місцями). Розробити власний оператор локального покращення.
17	Задача комівояжера (200 вершин, відстань між вершинами випадкова від 1 до 40), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 4$ , $\rho = 0,7$ , Lmin знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 45$ (15 з них дикі, обирають випадкові напрямки), починають маршрут в різних випадкових

	вершинах).
18	Задача розфарбовування графу (300 вершин, степінь вершини не більше 50, але не менше 1), класичний бджолиний алгоритм (число бджіл 60 із них 5 розвідники).
19	Задача про рюкзак (місткість $P=250$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 30 (випадкова), вага від 1 до 25 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування триточковий 25%, мутація з ймовірністю 5% два випадкові гени міняються місцями). Розробити власний оператор локального покращення.
20	Задача комівояжера (200 вершин, відстань між вершинами випадкова від 1 до 40), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 3$ , $\beta = 2$ , $\rho = 0,7$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 45$ (10 з них елітні, подвійний феромон), починають маршрут в різних випадкових вершинах).
21	Задача розфарбовування графу (200 вершин, степінь вершини не більше 30, але не менше 1), класичний бджолиний алгоритм (число бджіл 40 із них 2 розвідники).
22	Задача про рюкзак (місткість $P=250$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 30 (випадкова), вага від 1 до 25 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування триточковий 25%, мутація з ймовірністю 5% змінюємо тільки 1 випадковий ген). Розробити власний оператор локального покращення.
23	Задача комівояжера (300 вершин, відстань між вершинами випадкова від 1 до 60), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 3$ , $\beta = 2$ , $\rho = 0,6$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 45$ (15 з них елітні, подвійний феромон), починають маршрут в різних випадкових вершинах).

24	Задача розфарбовування графу (400 вершин, степінь вершини не більше 50, але не менше 1), класичний бджолиний алгоритм (число бджіл 70 із них 10 розвідники).
25	Задача про рюкзак (місткість $P=250$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 20 (випадкова), вага від 1 до 10 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування одноточковий по 50 генів, мутація з ймовірністю 5% змінюємо тільки 1 випадковий ген). Розробити власний оператор локального покращення.
26	Задача комівояжера (100 вершин, відстань між вершинами випадкова від 5 до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 4$ , $\rho = 0,4$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 30$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).
27	Задача розфарбовування графу (200 вершин, степінь вершини не більше 20, але не менше 1), бджолиний алгоритм ABC (число бджіл 30 із них 2 розвідники).
28	Задача про рюкзак (місткість $P=200$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 20 (випадкова), вага від 1 до 10 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування двоточковий порівну генів, мутація з ймовірністю 10% змінюємо тільки 1 випадковий ген). Розробити власний оператор локального покращення.
29	Задача комівояжера (150 вершин, відстань між вершинами випадкова від 5 до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 3$ , $\rho = 0,4$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 35$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).
30	Задача розфарбовування графу (250 вершин, степінь вершини не більше 25, але не менше 2), бджолиний алгоритм ABC (число бджіл 35 із них 3 розвідники).



31	Задача про рюкзак (місткість $P=250$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 20 (випадкова), вага від 1 до 10 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування одноточковий по 50 генів, мутація з ймовірністю 5% змінюємо тільки 1 випадковий ген). Розробити власний оператор локального покращення.
32	Задача комівояжера (100 вершин, відстань між вершинами випадкова від 5 до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 4$ , $\rho = 0,4$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 30$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).
33	Задача розфарбовування графу (200 вершин, степінь вершини не більше 20, але не менше 1), бджолиний алгоритм ABC (число бджіл 30 із них 2 розвідники).
34	Задача про рюкзак (місткість $P=200$ , 100 предметів, цінність предметів від 2 до 20 (випадкова), вага від 1 до 10 (випадкова)), генетичний алгоритм (початкова популяція 100 осіб кожна по 1 різному предмету, оператор схрещування двоточковий порівну генів, мутація з ймовірністю 10% змінюємо тільки 1 випадковий ген). Розробити власний оператор локального покращення.
35	Задача комівояжера (150 вершин, відстань між вершинами випадкова від 5 до 50), мурашиний алгоритм ( $\alpha = 2$ , $\beta = 3$ , $\rho = 0,4$ , $L_{\min}$ знайти жадібним алгоритмом, кількість мурах $M = 35$ , починають маршрут в різних випадкових вершинах).

## 3 ВИКОНАННЯ

### 3.1 Програмна реалізація алгоритму

#### 3.1.1 Вихідний код

```
import random

def find_greedy_solution(distances):

    start_node = random.randint(0, N-1)
    path = [start_node]
    visited = [False for _ in range(N)]
    visited[start_node] = True
    total_distance = 0
    while len(path) < N:
        next_node = None
        min_distance = float('inf')
        for i in range(N):
            if not visited[i]:
                if distances[path[-1]][i] < min_distance:
                    min_distance = distances[path[-1]][i]
                    next_node = i
        path.append(next_node)
        visited[next_node] = True
        total_distance += min_distance

    return total_distance

def choose_next_random_node(start_node, visited, distances, ):
    next_node = random.randint(0,249)

    while distances[start_node][next_node] == float('inf') or visited[next_node] :
        next_node = random.randint(0,249)
    return next_node

def choose_next_node_with_pheromone(start_node, visited, distances, pheromones, alpha, beta):
    next_nodes = []
    probs = []
    total_prob = 0
    for i in range(len(distances)):
        if not visited[i]:
            next_nodes.append(i)
            p = pheromones[start_node][i] ** alpha * ((1/distances[start_node][i]) ** beta)
            if p == 0:
                p = 1.5e-323
            probs.append(p)
            total_prob += p

    # Normalize probabilities
    for i in range(len(probs)):
        probs[i] = probs[i] / total_prob

    # choose next node based on the probabilities
    next_node = None

    r = random.random()

    min_p = 0
```

```

for i in range(len(probs)):
    if r <= min_p + probs[i]:
        next_node = next_nodes[i]
        break
    else:
        min_p += probs[i]

```

```

return next_node

```

```

def spread_pheromone(path, min_path_length, path_length, pheromones):
    delta_pheromones = min_path_length / path_length

```

```

for i in range(len(path) - 1):
    a = path[i]
    b = path[i+1]
    pheromones[a][b] += delta_pheromones
    pheromones[b][a] += delta_pheromones

```

```

return pheromones

```

```

def evaporate_pheromone(pheromones,p):
    for i in range(len(pheromones)):
        for j in range(len(pheromones[i])):
            pheromones[i][j] = pheromones[i][j] * (1 - p)

```

```

return pheromones

```

```

def calculate_path_length(path, distances):
    l = 0

```

```

for i in range(len(path)-1):
    l += distances[path[i]][path[i+1]]

```

```

return l

```

```

def aco_solution(M,N,alpha, beta, p, distances, iterations):
    best_solution = None
    best_solution_length = float('inf')
    min_path_length = find_greedy_solution(distances)

```

```

print("Greedy slotution length: ", min_path_length)

```

```

pheromones = [[1 for j in range(N)] for i in range(N)]

```

```

for j in range(0, iterations):
    all_path = []
    for i in range(M):

```

```

        start_node = random.randint(0, N-1)

```

```

        path = [start_node]
        visited = [False for _ in range(N)]
        visited[start_node] = True

```

```

        while len(path) < N:
            if i <= 10:
                next_node = choose_next_random_node(path[-1], visited, distances)
            else:

```

```
        next_node = choose_next_node_with_pheromone(path[-1], visited, distances, pheromones,
alpha, beta)
```

```
        visited[next_node] = True
        path.append(next_node)
```

```
    path_length = calculate_path_length(path, distances)
    pheromones = spread_pheromone(path, min_path_length, path_length, pheromones)
```

```
    all_path.append(path)
```

```
    if path_length < best_solution_length:
        best_solution = path
        best_solution_length = path_length
```

```
    pheromones = evaporate_pheromone(pheromones, p)
```

```
    return (best_solution, best_solution_length)
```

```
# Number of ants
M = 45
# Number of nodes
N = 250
# Random distance between nodes (1-40)
distances= [[random.randint(1,40) if i != j else float('inf') for i in range(N)] for j in range(N)]
```

```
# Parameters for the ACO algorithm
alpha = 4
beta = 2
p = 0.3
```

```
solved = aco_solution(M,N,alpha,beta, p,distances,5 )
```

```
print('ACO solution length: ',solved[1])
print('Solution: ',solved[0])
```

### 3.1.2 Приклади роботи

На рисунках 3.1 і 3.2 показані приклади роботи програми.

```
Greedy slotution length: 371
ACO solution length: 445
Solution: [113, 73, 206, 247, 246, 187, 163, 177, 221, 66, 220, 238, 39, 146, 139, 141, 49, 239, 147, 35, 166, 232, 97, 114, 231, 222, 213, 96, 108, 46, 228, 195, 78, 106, 94, 202, 19, 20, 175, 185, 164, 1, 3, 107, 75, 44, 174, 142, 5, 15, 91, 169, 162, 226, 63, 54, 196, 31, 153, 80, 216, 211, 229, 72, 45, 27, 248, 53, 150, 242, 148, 152, 89, 83, 100, 205, 183, 230, 176, 52, 56, 193, 58, 126, 201, 67, 198, 157, 125, 155, 116, 140, 6, 8, 61, 123, 225, 111, 57, 41, 87, 168, 86, 190, 149, 197, 95, 18, 33, 88, 103, 36, 244, 30, 90, 159, 130, 9, 151, 245, 209, 74, 219, 22, 210, 117, 40, 133, 24, 131, 138, 60, 0, 11, 128, 76, 12, 92, 48, 115, 102, 173, 217, 233, 112, 68, 199, 29, 188, 189, 184, 161, 55, 243, 124, 17, 119, 191, 135, 204, 158, 240, 51, 172, 109, 105, 98, 70, 165, 145, 200, 47, 235, 128, 132, 77, 14, 1, 17, 1, 224, 182, 26, 16, 160, 62, 186, 179, 154, 43, 184, 79, 37, 122, 30, 170, 23, 241, 227, 101, 118, 180, 28, 227, 170, 203, 144, 32, 59, 215, 134, 137, 208, 4, 84, 110, 214, 223, 93, 69, 34, 121, 10, 101, 7, 136, 2, 207, 3, 71, 85, 194, 192, 236, 127, 21, 82, 50, 64, 99, 25, 42, 212, 249, 156, 65, 218, 129, 81, 234, 143, 167]
PS E:\WorkPlace\alg\lab4>
```

Рисунок 3.1 – Результат роботи алгоритму з 1 ітерацією

```
PS E:\WorkPlace\alg\lab4> & C:\Users\0adve\AppData\Local\Microsoft\WindowsApps\python3.10.exe e:\WorkPlace\alg\lab4\alg.py
Greedy slotution length: 376
ACO solution length: 404
Solution: [133, 73, 184, 227, 20, 143, 81, 172, 190, 132, 155, 131, 113, 235, 186, 165, 160, 177, 202, 130, 118, 158, 17, 76, 102, 169, 199, 78, 166, 120, 45, 159, 140, 211, 193, 13, 236, 176, 226, 22, 134, 245, 36, 238, 203, 210, 188, 12, 191, 34, 31, 229, 157, 49, 98, 232, 178, 100, 101, 32, 187, 55, 167, 72, 224, 44, 75, 171, 59, 122, 163, 195, 179, 246, 214, 241, 52, 5, 244, 83, 222, 24, 70, 50, 219, 151, 62, 64, 110, 104, 97, 85, 141, 77, 247, 164, 30, 27, 213, 18, 103, 2, 40, 90, 201, 221, 60, 144, 68, 26, 115, 116, 231, 25, 99, 38, 212, 4, 88, 135, 242, 93, 106, 11, 146, 108, 47, 95, 150, 220, 65, 0, 17, 4, 92, 111, 21, 148, 161, 42, 197, 84, 96, 87, 209, 43, 119, 173, 6, 158, 137, 149, 74, 239, 94, 71, 208, 175, 123, 61, 185, 23, 53, 29, 63, 125, 3, 107, 67, 16, 240, 127, 126, 205, 248, 225, 8, 105, 82, 12, 8, 142, 121, 183, 215, 216, 210, 109, 86, 217, 79, 51, 15, 138, 124, 48, 117, 194, 41, 233, 204, 57, 7, 80, 66, 243, 200, 153, 152, 10, 192, 33, 91, 112, 139, 249, 39, 196, 46, 154, 69, 58, 182, 14, 56, 35, 54, 228, 170, 162, 37, 136, 156, 198, 237, 180, 9, 207, 129, 223, 89, 147, 19, 230, 1, 234, 189, 145, 28, 206, 114, 181]
PS E:\WorkPlace\alg\lab4>
```

Рисунок 3.2 – Результат роботи алгоритму з 5 ітераціями

### Тестування алгоритму

#### 3.1.3 Значення цільової функції зі збільшенням кількості ітерацій

У таблиці 3.1 наведено значення цільової функції зі збільшенням кількості ітерацій.

Кількість Ітерацій	Довжина шляху
1	712
5	606
15	352
20	344
...	...
1000	344

### 3.1.4 Графіки залежності розв'язку від числа ітерацій

На рисунку 3.3 наведений графік, який показує якість отриманого розв'язку.

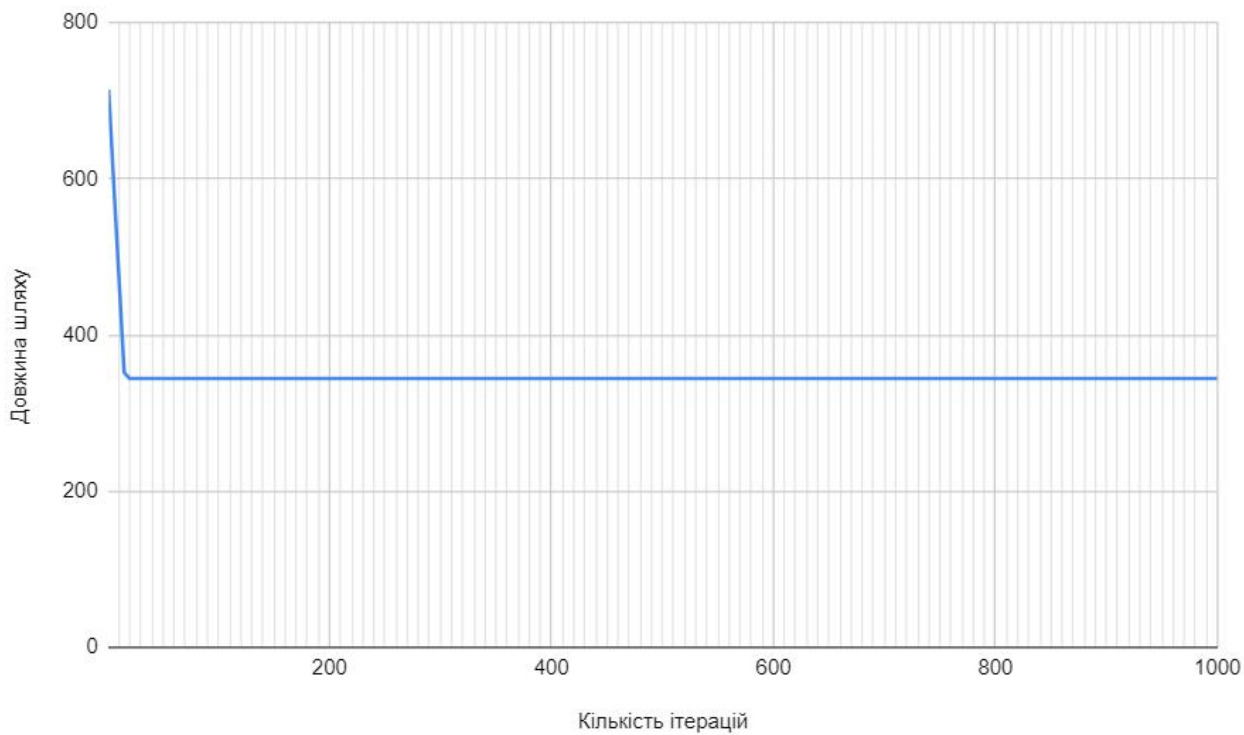


Рисунок 3.3 – Графіки залежності розв'язку від числа ітерацій(менше - краще)

## ВИСНОВОК

При виконанні даної лабораторної роботи було вивчено основні підходи формалізації метаевристичних алгоритмів і вирішення типових задач з їхньою допомогою. Розглянуто та досліджено мурашиний алгоритм (ACO). Проведено аналіз ефективності використання алгоритма. Використано евристичну функцію. Було помічено, що мурашиний алгоритм знаходить найкраще рішення на ранній ітерації - у проведеному тесті на 20й, і подальші ітерації не можуть знайти кращого рішення, аж до 1000 ітерацій.

## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

При здачі лабораторної роботи до 27.11.2021 включно максимальний бал дорівнює – 5. Після 27.11.2021 максимальний бал дорівнює – 1.

Критерії оцінювання у відсотках від максимального балу:

- програмна реалізація алгоритму – 75%;
- тестування алгоритму – 20%;
- висновок – 5%.