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-13 Крупосій Вадим Сергійович* _____
(шифр, прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірив *Сопов О.О.* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Київ 2022

ЗМІСТ

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 ($\alpha = 2$, $\beta = 4$, $\rho = 0{,}4$, Lmin 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 (α = 2, β = 3, ρ = 0,4, Lmin 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 (α = 3, β = 2, ρ = 0,3, Lmin 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 (α = 2, β = 4, ρ =

	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 (α = 4, β = 2, ρ = 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 (α = 2, β = 4, ρ = 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 ($\alpha = 3$, $\beta = 2$, $\rho = 0,7$, Lmin 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 ($\alpha = 3$, $\beta = 2$, $\rho = 0,6$, Lmin 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 ($\alpha = 2$, $\beta = 4$, $\rho = 0,4$, Lmin 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 ($\alpha = 2$, $\beta = 3$, $\rho = 0,4$, Lmin 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 ($\alpha = 2$, $\beta = 4$, $\rho = 0,4$, Lmin 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 ($\alpha = 2$, $\beta = 3$, $\rho = 0,4$, Lmin 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

Program.cs

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Configuration;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Lab3ANT
{
    internal class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            Graph graph = new Graph(250);
            GreedySearch greedySearch = new GreedySearch(graph);

            int lMin = greedySearch.GetMinLenght();

            Console.WriteLine($"lMin: {lMin}");

            double[,] pheromone = new double[graph.Matrix.GetLength(0),
graph.Matrix.GetLength(1)];

            for(int i = 0; i < pheromone.GetLength(0); i++)
            {
                for(int j = 0; j < pheromone.GetLength(1); j++)
                {
                    pheromone[i, j] = 0.0001;
                }
            }

            ACO aco = new ACO(graph.Matrix, pheromone, lMin);
            aco.Calculate();

        }
    }
    }
```

ACO.cs

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data.SqlClient;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Lab3ANT
{
    public class ACO
    {
        public double Alpha { get; set; }
        public double Beta { get; set; }
```

```
        public double Ro { get; set; }

        private int _lMin;
        private int[,] _distancesMatrix;
        private double[,] _pheromoneMatrix;
        private int _countOfAnt;
        private int _tMax;

        public ACO(int[,] distanceMatrix, double[,] pheromoneMatrix, int lMin)
        {
            _distancesMatrix = distanceMatrix;
            _pheromoneMatrix = pheromoneMatrix;
            Alpha = 4;
            Beta = 2;
            Ro = 0.3;
            _lMin = lMin;
            _countOfAnt = 45;
            _tMax = 10;
        }

        public List<Ant> GetAnts()
        {
            List<Ant> ants = new List<Ant>();
            Random rnd = new Random();

            for (int i = 0; i < _countOfAnt; i++)
            {
                int randomPosition = 0;
                do
                {
                    randomPosition = rnd.Next(0, _distancesMatrix.GetLength(0));
                } while (ants.Where(x => x.Position == randomPosition).Count() != 0);

                ants.Add(new Ant(randomPosition));
            }

            return ants;
        }

        public int GetMaxIndex(double[] array)
        {
            double max = array.Max();
            for (int i = 0; i < array.Length; i++)
            {
                if (max == array[i]) return i;
            }

            return -1;
        }

        public int GetNewPosition(int currPos, List<int> visitedPos)
        {
            double[] prob = new double[_distancesMatrix.GetLength(0)];

            for (int i = 0; i < prob.Length; i++)
            {
                if (visitedPos.Contains(i))
                {
                    prob[i] = 0;
                }
                else
                {
                    prob[i] = Math.Pow(_pheromoneMatrix[currPos, i], Alpha) * (Math.Pow((1d
/ _distancesMatrix[currPos, i]), Beta));
                }
```

```
        }

        Random rnd = new Random();

        double newPos = rnd.NextDouble() * prob.ToList().Sum();
        double sum = 0;

        int result = GetMaxIndex(prob);

        while (sum < newPos)
        {
            result = GetMaxIndex(prob);
            sum += prob[result];
            prob[result] = 0;
        }

        return result;
    }

    public int GetLength(List<int> way)
    {
        int length = 0;

        for (int i = 0; i < way.Count - 1; i++)
        {
            length += _distancesMatrix[way[i], way[i + 1]];
        }

        return length + _distancesMatrix[_distancesMatrix.GetLength(0) - 1, 0];
    }

    public double[,] GetPheromonic(List<List<int>> ways)
    {
        for (int i = 0; i < _pheromoneMatrix.GetLength(0); i++)
        {
            for (int j = 0; j < _pheromoneMatrix.GetLength(1); j++)
            {
                _pheromoneMatrix[i, j] *= (1d - Ro);
            }
        }

        foreach (var way in ways)
        {
            int delta = _lMin / GetLength(way);

            for (int i = 0; i < way.Count - 1; i++)
            {
                _pheromoneMatrix[way[i], way[i + 1]] += delta;
                _pheromoneMatrix[way[i + 1], way[i]] += delta;
            }

            _pheromoneMatrix[way[ways.Count - 1], way[0]] += delta;
            _pheromoneMatrix[way[0], way[ways.Count - 1]] += delta;
        }

        return _pheromoneMatrix;
    }



    public void Calculate()
    {
        List<Ant> ants = GetAnts();

        int bestLength = int.MaxValue;
```

```
            List<int> bestWay = new List<int>();

            for (int i = 0; i < _tMax; i++)
            {
                List<List<int>> ways = new List<List<int>>();

                for (int j = 0; j < ants.Count; j++)
                {
                    int currPos = ants[j].Position;
                    List<int> visPos = new List<int>();

                    while (visPos.Count < _distancesMatrix.GetLength(0))
                    {
                        visPos.Add(currPos);
                        currPos = GetNewPosition(currPos, visPos);
                    }

                    List<int> tWay = new List<int>();

                    for (int k = 0; k < visPos.Count; k++)
                    {
                        tWay.Add(visPos[k]);
                    }

                    ways.Add(tWay);
                }

                foreach(var way in ways)
                {
                    int length = GetLength(way);

                    if(length < bestLength)
                    {
                        bestWay = way;
                        bestLength = length;
                    }
                }


                _pheromoneMatrix = GetPheromonic(ways);
            }


            Console.WriteLine($"Best way: ");

            foreach(var w in bestWay)
            {
                Console.Write(w + " ");
            }
            Console.WriteLine($"\nBest length: {bestLength}");

        }

    }
       }
```

Ant.cs

```
namespace Lab3ANT
{
    public class Ant
    {
        public int Position { get; set; }

        public Ant(int position)
        {
```

```
            Position = position;
        }
    }
    }
```

Graph.cs

```
using System;
using System.Runtime.Serialization.Formatters;

namespace Lab3ANT
{
    public class Graph
    {
        public int MinDistance { get; } = 1;
        public int MaxDistance { get; } = 40;

        public int[,] Matrix { get; set; }

        public Graph(int numberOfVertexes)
        {
            Matrix = new int[numberOfVertexes, numberOfVertexes];
            Random rnd = new Random();

            for (int i = 0; i < Matrix.GetLength(0); i++)
            {
                for (int j = 0; j < Matrix.GetLength(1); j++)
                {
                    if (i == j)
                    {
                        Matrix[i, j] = 0;
                    }
                    else
                    {
                        Matrix[i, j] = Matrix[j, i] = rnd.Next(MinDistance, MaxDistance +
1);
                    }
                }
            }

        }


    }
    }
```

Greedysearch.cs

```
using System.Linq;
using System.Collections.Generic;

namespace Lab3ANT
{
    public class GreedySearch
    {
        public Graph Graph { get; set; }

        public GreedySearch(Graph graph)
        {
            this.Graph = graph;
        }

        public int GetMin(List<int> revVert, int[] distance)
        {
            int min = Graph.MaxDistance;
```

```
            int minI = 0;

            for (int i = 0; i < distance.Length; i++)
            {
                if (distance[i] < min && !revVert.Contains(i) && distance[i] > 0)
                {
                    min = distance[i];
                    minI = i;
                }
            }


            return minI;
        }

        public int GetMinLenght()
        {
            int result = 0;
            int currVert = 0;
            List<int> revVert = new List<int>();

            while (revVert.Count < Graph.Matrix.GetLength(0) - 1)
            {
                List<int> temp = new List<int>();
                for (int i = 0; i < Graph.Matrix.GetLength(1); i++)
                {
                    temp.Add(Graph.Matrix[currVert, i]);
                }

                int newVert = GetMin(temp, revVert.ToArray());
                result += Graph.Matrix[newVert, currVert];
                revVert.Add(currVert);
                currVert = newVert;
            }

            result += Graph.Matrix[currVert, 0];
            revVert.Add(currVert);
            return result;
        }
    }
}
```

3.1.2 Приклади роботи

На рисунках 3.1 і 3.2 показані приклади роботи програми.

Рисунок 3.1 –

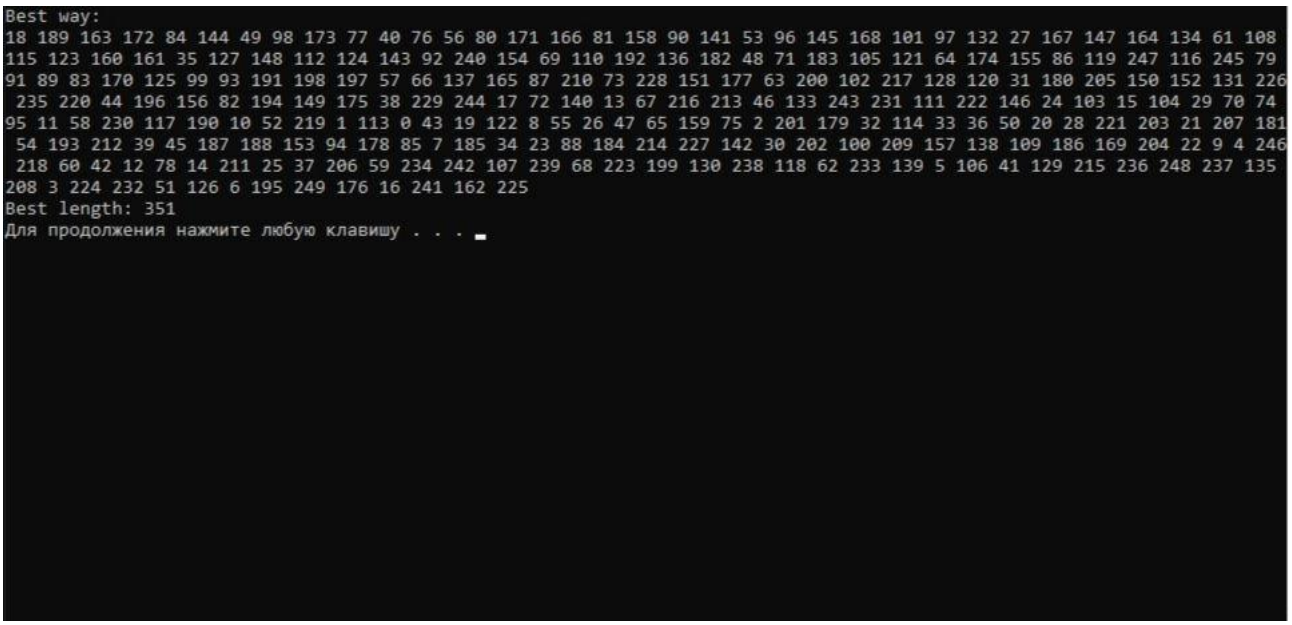
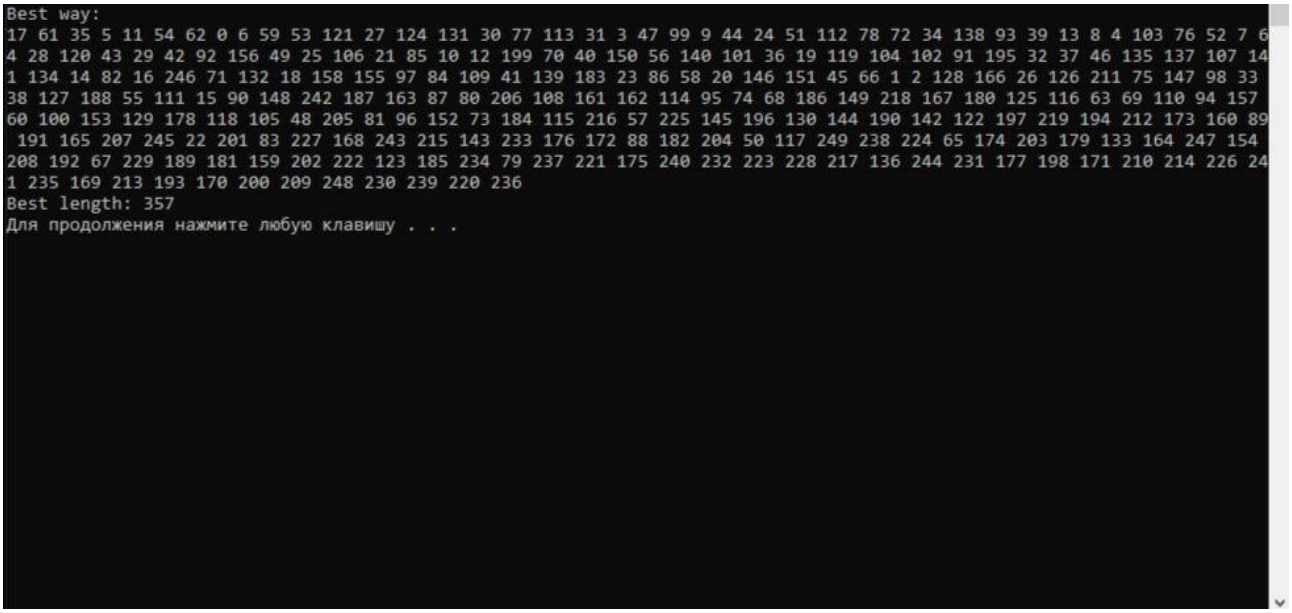


Рисунок 3.2 –



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	Тест 1	Тест 2	Середнє значення
0	601	526	563,5
20	581	511	546
40	562	511	536,5
60	538	511	524,5
80	538	511	524,5
100	538	495	516,5
120	538	495	516,5
140	538	495	516,5
160	513	495	504
180	513	495	504
200	291	226	258,5
220	285	226	255,5
240	278	226	252
260	278	226	252
280	278	226	252
320	278	226	252
360	278	226	252
400	278	226	252
440	278	226	252
480	278	226	252
520	278	226	252
560	278	226	252
600	278	226	252
640	278	226	252
680	278	226	252
720	278	226	252
760	278	226	252
800	278	226	252
840	278	226	252
880	278	226	252
920	278	226	252
960	276	226	251
1000	276	226	251

3.1.4 Графіки залежності розв'язку від числа ітерацій

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

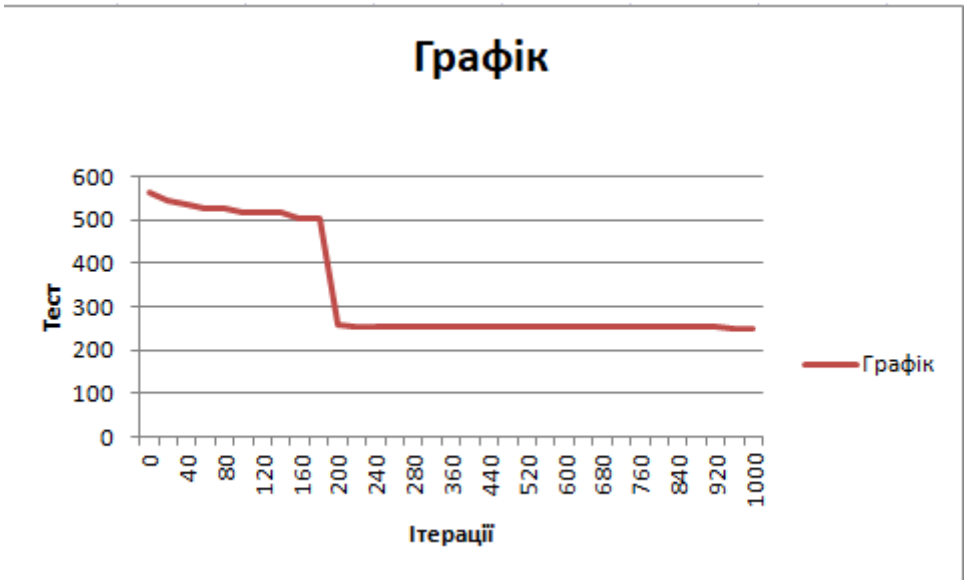


Рисунок 3.3 – Графіки залежності розв'язку від числа ітерацій

ВИСНОВОК

В рамках даної лабораторної роботи я вивчив різноманітні алгоритми оптимізації (метаевристичні алгоритми), навчився розв’язувати базові задачі з їх допомогою, реалізував мурашиний алгоритм (ACO) та провів його аналіз.

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%.