

УДК 004.7:004.032.26

**DETERMINATION OF THE OPTIMAL ROUTE IN A SECURE  
COMPUTER NETWORK USING A TWO-COLONIAL ANT ALGORITHM  
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ В ЗАХИЩЕНІЙ  
КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОХКОЛОНІАЛЬНОГО  
МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ**

**Pakhomova V.N. / Пахомова В.М.**

*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

**ORCID: 0000-0002-0022-099X**

*Dnipro National University of Railway Transport named after Academician  
V. Lazaryan, Ukraine, Dnipro, Lazaryan St., 2, 49010*

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, Україна, Дніпро, вул. Лазаряна, 2, 49010*

**Opriatny A.A. / Оприятний А.О.**

**ORCID: 0000-0001-7145-9677**

*Dnipro National University of Railway Transport named after Academician  
V. Lazaryan, Ukraine, Dnipro, Lazaryan St., 2, 49010*

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна, Україна, Дніпро, вул. Лазаряна, 2, 49010*

**Анотація.** У роботі пропонується методика визначення оптимального маршруту в захищеній комп'ютерній мережі інформаційно-телекомунікаційної системи залізничного транспорту на основі програмної моделі, що створена в Python з використанням двохколоніального мурашиного алгоритму, за наступними критеріями: загальною затримкою на маршрутизаторах та кількістю хопів, що складають маршрут.

**Ключові слова:** захищена комп'ютерна мережа, двохколоніальний мурашиний алгоритм, затримка на маршрутизаторах, кількість хопів.

**Abstract.** The paper proposes a method for determining the optimal route in a secure computer network of information and telecommunication system of railway transport based on a software model created in Python using a two-colonial ant algorithm, according to the following criteria: total delay on routers and the number of hops that make up the route.

**Key words:** secure computer network, ant algorithm, two-colonial, router, delay.

## **Вступ**

**Постановка проблеми.** Відомо, що основу інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) залізничного транспорту повинні складати захищені комп'ютерні мережі. Основним питанням при функціонуванні яких залишається організація маршрутизації, що досягається використанням відповідних протоколів, але реалізація яких в реальному часі викликає певні труднощі. Вирішення цього питання можливо: по-перше, при організації

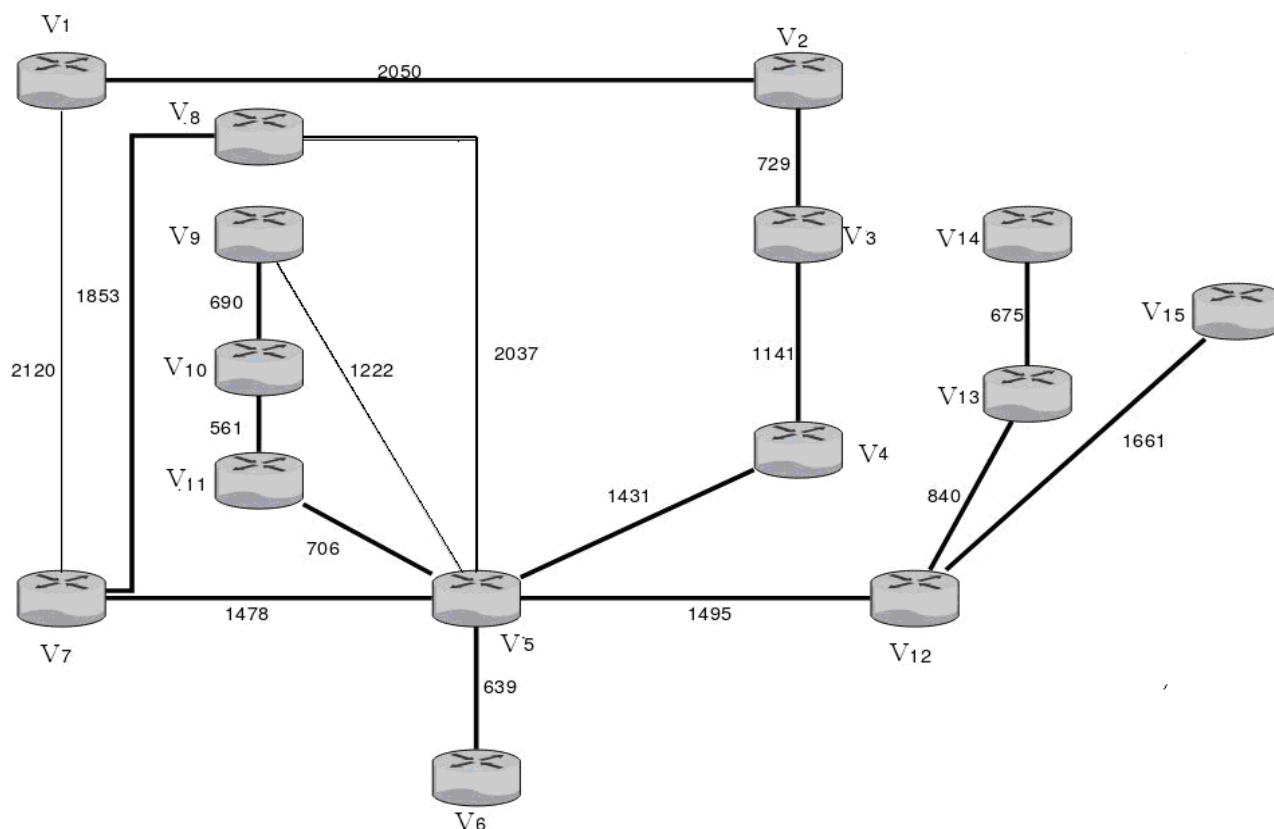
виявлення мережових атак на комп'ютерну мережу з використанням нейромережної технології; по-друге, при організації маршрутизації в захищеній комп'ютерній мережі з використанням мурашиного методу за різними критеріями, що потребує проведення відповідних досліджень.

**Аналіз наукових досліджень.** Мурашиний алгоритм запропонований доктором наук Марко Доріго [4]. У подальшому використанні мурашиного алгоритму для отримання розв'язку задач маршрутизації та дослідженням його параметрів займалися різні вчені. Так, наприклад, у роботі [3] Штовба С. Д. представив результати рішення задачі комівояжера для різних модифікацій мурашиного алгоритму. У роботі [1] Павленко А. І. та Титов Ю. П. представили результати дослідження деяких стратегій мурашиного алгоритму. У роботі [2] група авторів: Пахомова В. М.; Скабалланович Т. І.; Бондарева В. С. надали розв'язок задачі маршрутизації в ІТС залізничного транспорту з використанням мурашиного методу при передачі керуючих повідомлень, що потребує побудови мінімального кістякового дерева. Але найчастіше необхідно визначити оптимальний маршрут між заданими вузлами мережі ІТС.

**Метою роботи** є розробка методики визначення оптимального маршруту в захищеній комп'ютерній мережі ІТС залізничного транспорту на основі використання двохколоніального мурашиного алгоритму.

### **Постановка задачі**

Захищену комп'ютерну мережу, що лежить в основі ІТС залізничного транспорту, можна представити як зважений граф  $G(V, W)$ , де  $V$  – множина вершин графа, кількість яких дорівнює  $B$ , причому кожна вершина моделює собою вузол (маршрутизатор) мережі;  $W$  – множина ребер графа, кожне ребро моделює зв'язок між вузлами, кількість ребер графа дорівнює  $M$ . Розглянемо фрагмент такої мережі, що зображений на рис. 1 ( $B = 15$ ,  $M = 17$ ). Кожному ребру графа присвоєна певна вага  $t_{ij}$  (час затримки на маршрутизаторі під час передачі даних від  $i$  до  $j$ -го маршрутизатора мережі, мкс). Необхідно визначити оптимальний маршрут між заданими маршрутизаторами захищеної комп'ютерної мережі.



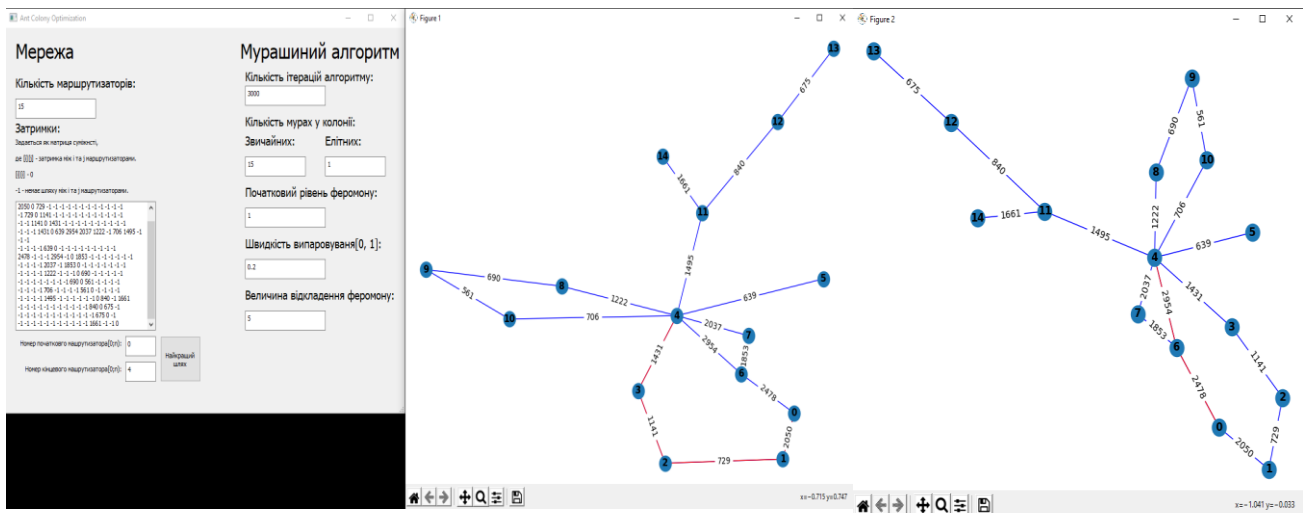
**Рис. 1. Граф з'єднань маршрутизаторів комп'ютерної мережі**

*Авторська розробка*

### **Характеристика розробленої програмної моделі «Two-ACO»**

Програмна модель «Two-ACO» написана на мові Python з використанням фреймворку для віконних інтерфейсів Qt, а також бібліотек NetworkX та Matplotlib для відображення графів на екран та визначення оптимального маршруту в мережі. У програмі створені класи: *NetworkX*, що дозволяє представляти мережу як граф, та *ACO (Ant Colony Optimization)* для роботи з алгоритмом мурашиної оптимізації. *Вхідні параметри моделі*: кількість маршрутизаторів; матриця суміжності мережі; кількість ітерацій; кількість мурах; кількість елітних мурах; початковий рівень феромону; коефіцієнт випаровування; параметр для регулювання величини відкладення феромону. *Результати роботи моделі* подаються у вигляді графів (*Figure1, Figure2*) із зображенням на них оптимальних шляхів: за критерієм сумарної затримки на маршрутизаторах (для першої колонії мурах) та кількістю хопів (для другої колонії мурах). *Обмеження, що накладаються на програмну модель*: коефіцієнт випаровування приймає значення між 0 та 1 (включно).

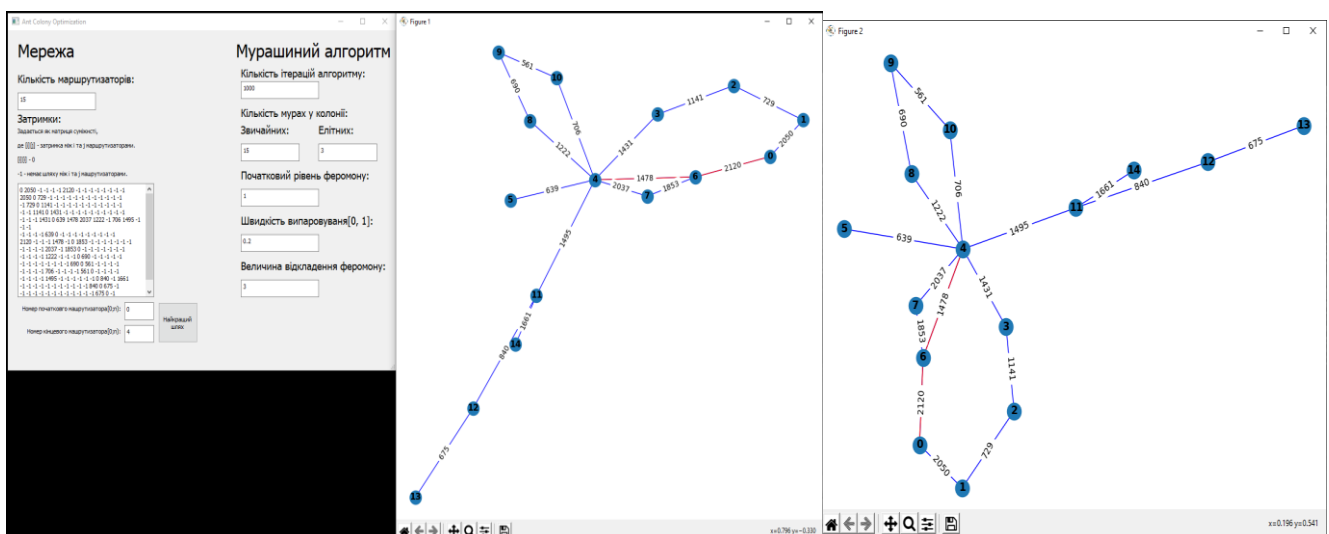
*Перший можливий випадок.* При значеннях затримок, які вказані на рис.1, програмна модель «Two-ACO» між вершинами 0 та 4 надала оптимальні маршрути (рис. 2):  $V0 \rightarrow V6 \rightarrow V4 = 2120 + 1478 = 3598$  мкс (*Figure1* за першим критерієм);  $V0 \rightarrow V6 \rightarrow 4 = 2$  (*Figure2* за другим критерієм), при цьому сумарне значення затримок співпадає та складає 3598 мкс.



**Рис. 2. Визначення на програмній моделі оптимального маршруту за різними критерієм (при початкових значеннях затримок)**

*Авторська розробка*

*Другий можливий випадок.* Проведемо запуск програмної моделі зі зміною значень затримок ( $V0 \rightarrow V6 = 2478$  мкс,  $V6 \rightarrow V4 = 2954$  мкс), рис. 3.



**Рис. 3. Визначення на програмній моделі оптимального маршруту за різними критеріями (при зміні значень затримок)**

*Авторська розробка*

У даному випадку програмна модель «Two-ACO» між вершинами 0 та 4 надає вже інший оптимальний маршрут (див. рис. 3):  $V_0 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 = 2050 + 729 + 1141 + 1431 = 5351$  мкс (*Figure1* за першим критерієм); але  $V_0 \rightarrow V_6 \rightarrow V_4 = 2$  (*Figure2* за другим критерієм), при цьому сумарне значення затримок дорівнює  $2478 + 2954 = 5432$  мкс, що перевершує попереднє.

## Висновки

Для визначення оптимального маршруту в захищеній комп'ютерній мережі ІТС залізничного транспорту за мурашиним алгоритмом елітної стратегії створена на Python програмна модель «Two-ACO», вхідні параметри якої: кількість маршрутизаторів; затримки на них; та параметри мурашиного алгоритму. У якості результатів програмна модель «Two-ACO» надає оптимальні маршрути за наступними критеріями: загальною затримкою на маршрутизаторах (на основі першої колонії мурах) та кількістю хопів, що складають маршрут (на основі другої колонії мурах).

## Література

1. Павленко А.И., Титов Ю.П. Сравнительный анализ модифицированных методов муравьиных колоний // Прикладная информатика. 2012. № 4(40). С. 100-112.
2. Пахомова В.М., Скабалланович Т.І., Бондарева В.С. Визначення маршрутів в комп'ютерній мережі залізничного транспорту на основі мурашиного алгоритму. Chapter 13, pp. 151-158. DOI: 10.30888/978-3-9821783-5-6.2020-01-03-039 // Erbe der europäischen wissenschaft: technik und technologie, informatik, sicherheit, verkehr, architektur. Monographische Reihe «Europäischen wissenschaft». Buch 2. Teil 3. 2020, Karlsruhe, Germany.
3. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2003. № 4. С. 70-75.
4. Dorigo M., Gambardella L. M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem // IEEE Trans. on Evolutionary Computation. 1997. Vol. 1. Iss. 1. pp. 53-66. DOI: 10.1109/4235.585892.