

## РЕФЕРАТ

**Актуальність теми.** Традиційні протоколи маршрутизації, зокрема OSPF, спираються на алгоритм Дейкстри й обирають єдиний оптимальний маршрут, що веде до нерівномірного розподілу навантаження та знижує відмовостійкість мережі. Існуючі підходи до багатошляхової маршрутизації потребують багаторазового запуску алгоритму для кожної пари вузлів окремо, що суттєво збільшує обчислювальні витрати. Розробка алгоритму, здатного формувати множину альтернативних маршрутів для всієї мережі за один прохід, є актуальною науковою і практичною задачею.

**Об'єктом дослідження** є процес маршрутизації в комп'ютерних мережах та побудова множинних маршрутів у внутрішньомережевих протоколах.

**Предметом дослідження** є алгоритми багатошляхової маршрутизації та методи побудови альтернативних маршрутів, а також оцінка їх ефективності за показниками швидкодії, використання пам'яті та часу доставки пакетів.

**Мета роботи:** проаналізувати існуючі алгоритми маршрутизації та підходи до побудови множинних маршрутів; дослідити обмеження класичних алгоритмів пошуку найкоротших шляхів у задачах багатошляхової маршрутизації; розробити модифікацію алгоритму Дейкстри, що одночасно формує основне дерево найкоротших маршрутів та додаткове дерево альтернативних шляхів; оцінити ефективність запропонованого підходу в контексті внутрішньомережевих протоколів маршрутизації.

**Наукова новизна** полягає в наступному:

1. Запропоновано модифікацію алгоритму Дейкстри, яка за один прохід будує основне та альтернативне дерева маршрутів.
2. Удосконалено підхід до багатошляхової маршрутизації: множина маршрутів формується в межах усієї мережі без багаторазового запуску алгоритму для окремих пар вузлів.
3. Виконано порівняльний аналіз запропонованого підходу та існуючих алгоритмів за показниками швидкодії, використання пам'яті та часу доставки пакетів.

**Практична цінність.** Запропонована модифікація алгоритму Дейкстри формує основні та альтернативні маршрути за один прохід, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження та підвищує відмовостійкість без значного збільшення обчислювальних витрат. Розроблений підхід може бути застосований у внутрішньомережевих протоколах маршрутизації, при проектуванні та оптимізації комп'ютерних мереж, а також у навчальному процесі при вивченні алгоритмів маршрутизації.

**Апробація роботи.** Основні положення і результати роботи представлено на таких наукових заходах: XVII Наукова конференція магістрантів та аспірантів ПМК-2024, Київ, 20-22 листопада 2024; XVIII всеукраїнська науково-практична web-конференція аспірантів, студентів та молодих вчених, Кривий Ріг, 25-27 березня 2025; The 8th International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications (ICCSEEA2025), онлайн-конференція, Львів, 21-22 червня 2025; XVIII Наукова конференція магістрантів та аспірантів ПМК-2025, Київ, 19-21 листопада 2025.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність результатів.

У *першому розділі* проведено аналіз підходів до маршрутизації в комп'ютерних мережах: розглянуто моделі та метрики якості маршрутів, класифікацію багатошляхових методів, алгоритмічні підходи до побудови множинних маршрутів та їх обмеження.

У *другому розділі* формалізовано задачу маршрутизації, обґрунтовано необхідність модифікації класичних алгоритмів, представлено розроблену модифікацію алгоритму Дейкстри та проаналізовано її обчислювальну складність.

У *третьому розділі* описано два компоненти розробленого програмного комплексу: консольний додаток для алгоритмічного тестування та настільний

симулятор мережі для моделювання процесів маршрутизації з візуалізацією передавання пакетів.

*У четвертому розділі* наведено результати експериментального дослідження модифікованого алгоритму за показниками повноти побудови додаткового дерева маршрутів, швидкодії та використання пам'яті, а також виконано порівняння з існуючими алгоритмами та проведено моделювання передачі пакетів у різних сценаріях навантаження.

*У висновках* підсумовано основні результати роботи.

Робота викладена на 95 сторінках, містить 40 рисунків, 8 таблиць, 6 додатків.

**Ключові слова:** комп'ютерні мережі, маршрутизація, багатошляхова маршрутизація, алгоритм Дейкстри, модифікація алгоритму, альтернативні маршрути, дерево найкоротших шляхів, внутрішньомережеві протоколи.

## ABSTRACT

**Relevance of the topic.** Traditional routing protocols, including OSPF, rely on Dijkstra's algorithm and select a single optimal route, which leads to uneven load distribution and reduces network fault tolerance. Existing multipath routing approaches require running the algorithm repeatedly for each pair of nodes, which significantly increases computational costs. Developing an algorithm capable of constructing a set of alternative routes for the entire network in a single pass is therefore a relevant scientific and practical problem.

**Object of research** is the routing process in computer networks and the construction of multiple routes in intra-domain routing protocols.

**Subject of research** is multipath routing algorithms and methods for constructing alternative routes, as well as the evaluation of their efficiency in terms of execution speed, memory usage, and packet delivery time.

**Objective of the work:** to analyze existing routing algorithms and approaches to constructing multiple routes; to investigate the limitations of classical shortest path algorithms in multipath routing problems; to develop a modification of Dijkstra's algorithm that simultaneously constructs a primary shortest path tree and an additional alternative path tree; to evaluate the efficiency of the proposed approach in the context of intra-domain routing protocols.

**Scientific novelty:**

1. A modification of Dijkstra's algorithm is proposed, which constructs both the primary and alternative route trees in a single pass.
2. The multipath routing approach is improved: a set of routes is constructed across the entire network without running the algorithm repeatedly for individual pairs of nodes.
3. A comparative analysis of the proposed approach and existing algorithms is performed in terms of execution speed, memory usage, and packet delivery time.

**Practical value.** The proposed modification of Dijkstra's algorithm constructs primary and alternative routes in a single pass, ensuring balanced load distribution and improved fault tolerance without a significant increase in computational costs. The

developed approach can be applied in intra-domain routing protocols, in the design and optimization of computer networks, and in educational settings for studying routing algorithms.

**Approbation of the work.** The main findings and results of the work were presented at the following scientific events: XVII Scientific Conference of Master's and Postgraduate Students PMK-2024, Kyiv, November 20-22, 2024; XVIII All-Ukrainian Scientific and Practical Web Conference of Postgraduate Students, Students and Young Scientists, Kryvyi Rih, March 25-27, 2025; The 8th International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications (ICCSEEA2025), online conference, Lviv, Ukraine, June 21-22, 2025; XVIII Scientific Conference of Master's and Postgraduate Students PMK-2025, Kyiv, November 19-21, 2025.

**Structure and scope of the work.** The master's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The *introduction* substantiates the relevance of the topic, formulates the objective, object and subject of research, and defines the scientific novelty and practical value of the results.

The *first chapter* analyzes routing approaches in computer networks, covering route quality models and metrics, classification of multipath methods, and algorithmic approaches to constructing multiple routes along with their limitations.

The *second chapter* formalizes the routing problem, justifies the need to modify classical algorithms, presents the developed modification of Dijkstra's algorithm, and analyzes its computational complexity.

The *third chapter* describes two components of the developed software package: a console application for algorithmic testing and a desktop network simulator for modeling routing processes with packet transmission visualization.

The *fourth chapter* presents the results of experimental evaluation of the modified algorithm in terms of additional route tree coverage, execution speed, and memory usage, as well as a comparison with existing algorithms and packet transmission simulations under various load scenarios.

The *conclusions* summarize the main results of the work.

The work is presented on 95 pages and contains 40 figures, 8 tables, 6 appendices.

**Keywords:** computer networks, routing, multipath routing, Dijkstra's algorithm, algorithm modification, alternative routes, shortest path tree, intra-domain routing protocols.