scientific journal

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
(PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION)

p-ISSN: 2413-1571, e-ISSN: 2413-158X 2025, 40(2), https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i2-08

УДК: 004.942

ОПТИМІЗАЦІЯ НАЙКОРОТШОГО МАРШРУТУ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ ОПЕРАЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ MS EXCEL ТА WOLFRAM MATHEMATICA

Ольга УДОДОВА ✉
Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Україна
udodova_o@ukr.net, https://orcid.org/0000-0003-1072-0602

Сніжана ВОВЧУК
Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Україна
snezhana.vovchuk@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6187-0059

АНОТАЦІЯ

У контексті сучасних військових операцій оптимізація маршрутів військових підрозділів має першорядне значення. Від вибору правильних маршрутів залежить ефективність виконання бойових завдань, безпека особового складу та ефективність логістичних процесів. Визначення найефективнішого маршруту є критично важливим при проведенні військових операцій, перевезенні вантажів та рятувальних місій тощо.

Формулювання проблеми. *Стрімкий розвиток комп'ютерного моделювання в різних галузях створив можливість проектувати складні системи, аналізувати їхні властивості та ефективно керувати ними в умовах обмеженого часу, ресурсів та неповної інформації. Для дослідження характе-ристик таких систем та вирішення ключових проблем управління необхідно вміти будувати їх математичні моделі.*

Матеріали і методи. *Для прийняття обґрунтованих рішень та підвищення ефективності виконання бойових та логістичних завдань майбутнім військовим фахівцям необхідно оволодіти навичками побудови математичних моделей. Для вирішення таких завдань можуть бути використані методи математичного моделювання, зокрема алгоритми пошуку найкоротшого шляху. Найпростішими системами для реалізації цих методів є MS Excel та Wolfram Mathematica, які мають потужні інструменти для аналізу та оптимізації маршрутів.*

Результати. *Запропоновані підходи були апробовані в навчальному процесі підготовки курсантів Харківського національного університету Повітряних Сил імені І. Кожедуба. Вони дозволяють курсантам засвоїти основи теорії графів, методів оптимізації та принципів військової логістики. Використання Wolfram Mathematica продемонструвало значні переваги у швидкості та точності обчислень порівняно з Excel, особливо у випадках динамічних змін маршруту.*

Висновки. *Викладання методів пошуку найкоротшого маршруту за допомогою MS Excel та Wolfram Mathematica допоможе курсантам розвивати навички аналітичного мислення, розуміти важливість алгоритмічних підходів військового планування, особливо для майбутніх військових аналітиків, інженерів, фахівців з логістики та інформаційних технологій.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *військова логістика; викладання задач оптимізації; задача про найкоротший шлях; MS Excel; "Розв'язувач", Wolfram Mathematica.*

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Удодова О., Вовчук С. Оптимізація найкоротшого маршруту для військових операцій за допомогою MS Excel та Wolfram Mathematica. *Фізико-математична освіта*, 2025. Том 40. № 2. С. 57-62. https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i2-08.

SHORTEST PATH OPTIMISATION FOR MILITARY OPERATIONS WITH MS EXCEL AND WOLFRAM MATHEMATICA

Olha UDODOVA ✉
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine
udodova_o@ukr.net, https://orcid.org/0000-0003-1072-0602

Snizhana VOVCHUK
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine
snezhana.vovchuk@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6187-0059

ABSTRACT

In the context of contemporary military operations, optimizing the routes of military units is of paramount importance. The selection of appropriate routes is pivotal in determining the efficiency of combat missions, the safety of personnel, and the efficacy of logistics processes. The identification of the most efficient route is a critical consideration in military operations, cargo transportation, and rescue missions.

Formulation of the problem. *The rapid development of computer modelling in various fields has created the possibility of designing complex systems, analyzing their properties, and managing them effectively in conditions of limited time, resources, and incomplete information. To study the characteristics of such systems and solve key management problems, it is necessary to be able to build their mathematical models.*

Materials and methods. *In order to make informed decisions and improve the efficiency of combat and logistics tasks, it is essential for future military specialists to master the construction of mathematical models. Mathematical modelling methods, in particular shortest path search algorithms, can be used to solve such problems. The simplest systems for implementing these methods are MS Excel and Wolfram Mathematica, which have powerful tools for route analysis and optimization.*

Results. *The proposed approaches have been tested in the educational process of training cadets at the Kharkiv National Air Force University named after I. Kozhedub. They allow students to learn the basics of graph theory, optimization methods, and military logistics principles. The use of Wolfram Mathematica has demonstrated significant advantages in terms of speed and accuracy of calculations compared to Excel, especially in cases of dynamic route changes.*

Conclusions. *The teaching methods for finding the shortest route using MS Excel and Wolfram Mathematica will help cadets develop analytical thinking skills, understand the importance of algorithmic approaches to military planning. This is especially important for future military analysts, engineers, logistics, and information technology specialists.*

KEYWORDS: *military logistics; teaching optimization problems; shortest path problem; MS Excel; Wolfram Mathematica.*

FOR CITATION: Udodova, O., & Vovchuk, S. (2025). Shortest path optimisation for military operations with MS Excel and Wolfram Mathematica. *Physical and Mathematical Education*, *40*(2), 57-62. https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i2-08

ВСТУП

Постановка проблеми. У роботі розглядається проблема оптимізації маршрутів для військових підрозділів із використанням методів теорії графів та алгоритмів пошуку найкоротшого шляху. Традиційні підходи, такі як ручне планування та використання GPS навігації, є неефективними в умовах бойових дій через їхню нездатність швидко адаптуватися до змін тактичної обстановки, наявність заборонених або небезпечних зон та вимогу оперативної реакції на нові загрози. Поточні алгоритми, такі як алгоритм Дейкстри (Dijkstra, 1959), мають високу обчислювальну складність для великих графів (Sharifzadeh et al., 2008) і не підходять для динамічних сценаріїв (Loucks, 2022). Аналіз моделей тактичної обстановки, які використовуються для прийняття рішень при плануванні транспортних маршрутів, представлено у (Díaz-Madroñero et al., 2015).

Для вирішення завдань обрані інструменти MS Excel та Wolfram Mathematica. MS Excel зручний для статичного і базового аналізу даних без необхідності програмування, що робить його доступним інструментом для широкого кола користувачів. Wolfram Mathematica, з іншого боку, пропонує більш потужні можливості для математичного моделювання та обробки великих обсягів даних, а також функції візуалізації та адаптації до змін у реальному часі. Хоча Python (зокрема, бібліотека NetworkX) та MATLAB також є важливими засобами задач оптимізації, їх використання потребує додаткових знань програмування та ліцензійних витрат у випадку MATLAB (Loucks, 2022).

Аналіз актуальних досліджень. У 1959 році Едсгер Дейкстра розробив алгоритм пошуку найкоротшого шляху в графі, який дозволяє знайти оптимальний маршрут між двома вершинами зваженого графа. Дуже багато застосувань цієї проблематики також у графових структурах:

– в соціальних мережах. Наприклад, у сервісі LinkedIn алгоритми допомагають знайти найкоротший шлях між користувачами через "соціальні зв'язки" (Cao et al., 2011);

– у комунікаційних мережах, зокрема у маршрутизації та моніторингу мережевого трафіку (Chen et al., 2009);

– для оптимізації військово-медичного планування (Benhassine et al., 2024);

– для планування роботи дронів (Ham, 2020).

Алгоритм Дейкстри потребує перерахунку за алгоритмом повторно для динамічної ситуації. Алгоритм Беллмана-Форда не вимагає складних структурних даних, але він може зайняти більше пам’яті через збереження відстаней для всіх вершин і ребер. Більш гнучким за алгоритми Дейкстри та Беллмана-Форда є алгоритм A*, але він чутливий до вибору евристики (Shi et al., 2009). Порівняльний аналіз багатьох методів знаходження оптимального шляху досліджувався у (Бабич та ін., 2023). Симплекс-метод дозволяє включати додаткові фактори, наприклад, ліміт пального або ресурсів, обмеження часу, мінімізацію ризиків, а також підходить до завдань із змінними вагами, коли маршрут може змінюватися через нові загрози або погодні умови. Для військових завдань, де важливо мінімізувати ризики та витрати, треба навчити курсантів використовувати і аналізувати всі вказані методи.

Останнім часом зросло застосування ШІ-алгоритмів у сфері оптимізації та прийняття рішень (Трофименко та ін., 2024):

- Deep Learning (глибоке навчання) використовує нейромережі для аналізу великих обсягів даних і прогнозування оптимальних рішень. Цей метод ефективний, проте потребує значних обсягів даних і має високу обчислювальну складність.
- Reinforcement Learning (навчання з підкріпленням, RL) застосовується для ухвалення оптимальних рішень у динамічному середовищі, ґрунтуючись на системі винагород. Вимагає тривалого навчання та значних обчислювальних ресурсів.
- IoT-аналітика (Інтернет речей + ШІ) забезпечує збір і обробку даних у реальному часі з датчиків військової техніки та складів. Вона підвищує ефективність логістики, однак є вразливою до кібератак і залежить від стабільності зв’язку.

Застосування цих підходів у військовій логістиці відкриває нові можливості, проте потребує ретельного врахування ресурсів і ризиків.

Мета статті. Метою статті є аналіз методів навчання та використання інструментів оптимізації у військовій логістиці. Автори викладають дисципліни, що включають елементи оптимізації та комп’ютерного моделювання, для бакалаврів і магістрів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Основу цих курсів становить теорія оптимізації, яка дозволяє розробляти алгоритми ефективного розподілу ресурсів, планування військових логістичних операцій і мінімізації ризиків. У межах дослідження пропонується розглянути особливості використання MS Excel і Wolfram Mathematica як навчальних середовищ для вирішення логістичних задач військового спрямування.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Введемо основні теоретичні поняття (Нікольський та ін., 2007). Графом називають пару G=(V,U), де V – непорожня скінченна множина елементів, які називають вершинами, а U – множина невпорядкованих пар різних елементів із V, які називаються ребрами. Граф називають орієнтованим, якщо U – множина впорядкованих пар елементів V. Зваженим називають граф, кожному ребру якого приписане дійсне число, яке називають вагою ребра. Вага ребра може визначати відстань, час або інший критерій оцінки переходу між вершинами.

Розглянута класична задача теорії графів – задача знаходження найкоротшого шляху. Ця задача є однією з фундаментальних проблем у методах оптимізації та теорії графів. Вона формулюється як задача визначення шляху між двома заданими вершинами графа таким чином, щоб сума ваг ребер цього шляху була мінімальна.

Військовий підрозділ має переміститися від точки V_1 до точки V_n. Територія представлена у вигляді графа: вершини V_2 , V_3, …, V_{n-1} – це стратегічні об’єкти, а ребра – дороги між ними. Кожна дорога має вагу (у нашому випадку відстань у кілометрах). Деякі дороги можуть бути небезпечними (V_i – V_{i+1}, i = 1, …, k). Знайти найкоротший і найменш небезпечний шлях.

Треба уникати маршрутів з високими ризиками, навіть якщо вони коротші. Вага ребер для небезпечних зон (Zhang et al., 2022) дорівнює:

$$B = a\,(w_s s + w_t t + w_d d),$$

де a – довжина шляху; s – витрати ресурсів на одиницю відстані; t – час, що витрачається на одиницю відстані; d – рівень небезпеки на одиницю відстані; w_s, w_t, w_d – вагові коефіцієнти, $w_s + w_t + w_d = 1$.

Для аналізу статичних ситуацій використовується надбудова "Розв’язувач" (Solver) у середовищі MS Excel, яка дозволяє знайти найкоротший маршрут на основі матриці вагових коефіцієнтів. Проте цей підхід має суттєві обмеження при моделюванні динамічних сценаріїв, оскільки не дозволяє швидко змінювати умови задачі (Loucks, 2022). Натомість для розв’язання задач із високою динамікою було застосовано Wolfram Mathematica, яка володіє широким спектром вбудованих функцій оптимізації та алгоритмів пошуку найкоротших шляхів у графах (наприклад, алгоритм Дейкстри (Dijkstra, 1959) та алгоритм Беллмана-Форда (Bellman, 1958; Ford, 1962)). Це дозволяє проводити швидкі обчислення навіть у складних умовах і з урахуванням багатьох змінних факторів. Wolfram Mathematica забезпечує не тільки високу швидкість виконання алгоритмів, а й можливість візуалізації маршрутів та оперативної адаптації до змін у реальному часі, що є критично важливим для військової логістики.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

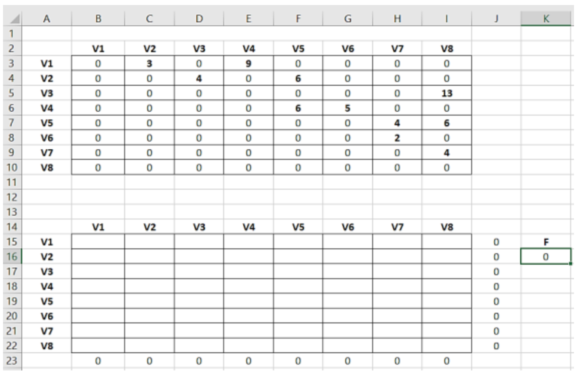
Для розв’язання задачі використано два підходи:

1. MS Excel (“Розв’язувач”).
   – Підходить для статичних випадків, коли всі параметри відомі заздалегідь.
   – Використовує метод лінійного програмування та алгоритм гілок і меж.
   – Дає змогу знайти найкоротший шлях у простих умовах.
2. Wolfram Mathematica.
   – Дозволяє працювати з динамічними змінами в реальному часі.
   – Використовує потужні алгоритми теорії графів FindShortestPath, Graph тощо.
   – Здатна швидко обробляти великі графи та враховувати обмеження на певні ділянки маршруту.
   – Може бути інтегрована з GIS-системами для аналізу реальних карт місцевості (Levin & Kanza, 2014).

Розглянемо приклад моделювання та аналіз задачі про найкоротший шлях. Електронні таблиці MS Excel найпростіше використовувати для аналізу табличних даних, проведення розрахунків та побудови діаграм. Розглянемо перший підхід розв’язання задачі за допомогою інструментів оптимізації “Розв’язувач”. Для цього створимо таблицю, в якій запишемо дані задачі (рис. 1).

Рахуємо суму елементів у рядках та у стовпцях. Ці суми будуть використані для визначення обмежень на єдиність шляху. У комірці J15 вказуємо =SUM(B15:I15) (сума елементів у рядку) і протягуємо на весь стовпчик. У комірці B23 вказуємо =SUM(B15:B22) (сума елементів у стовпці) і протягуємо на весь рядок. У комірці цільової функції $K$16 вказуємо суму добутків значень таблиці відстаней на бінарні значення змінних =SUMPRODUCT(B3:I10;B15:I22). Значення змінної, що дорівнює нулю, вказує на відсутність шляху, а рівність одиниці – шлях існує.

На вкладці “Дані” запускаємо “Розв’язувач” і у діалоговому вікні вводимо параметри (рис. 2). Оптимізувати цільову функцію у $K$16 на мінімум. Змінювати комірки вказаних змінних $B$15:$I$22.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8		
3	V1	0	3	0	9	0	0	0	0		
4	V2	0	0	4	0	6	0	0	0		
5	V3	0	0	0	0	0	0	0	13		
6	V4	0	0	0	0	6	5	0	0		
7	V5	0	0	0	0	0	0	4	6		
8	V6	0	0	0	0	0	0	2	0		
9	V7	0	0	0	0	0	0	0	4		
10	V8	0	0	0	0	0	0	0	0		
11											
12											
13											
14		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8		
15	V1									0	F
16	V2									0	0
17	V3									0	
18	V4									0	
19	V5									0	
20	V6									0	
21	V7									0	
22	V8									0	
23		0	0	0	0	0	0	0	0		

Рис. 1. Приклад таблиці відстаней та комірок змінних у MS Excel

Джерело: авторська розробка.

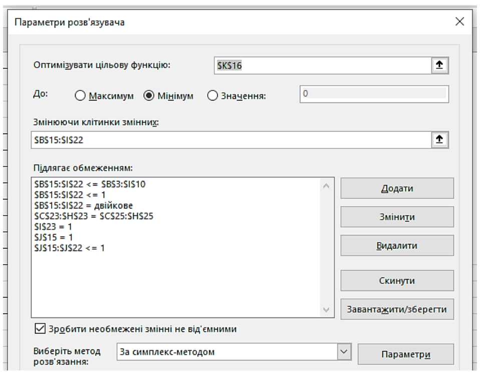


Рис. 2. Введені параметри “Розв’язувача” у MS Excel

Джерело: авторська розробка.

Проаналізуємо можливі обмеження симплекс-методу. Шлях повинен починатися з вершини V_1 і приходити у вершину V_8. Якщо у таблиці відстаней відсутній шлях між двома сусідніми вершинами, то і у таблиці змінних відповідна змінна дорівнює нулю. Переходимо між вершинами послідовно – до якої прийшли, з такої і виходимо.

– Обмеження $J$15 = 1 означає, що починаємо з вершини V1.
– Обмеження $I$23 = 1 означає, що прийдемо у вершину V8.
– Обмеження $B$15:$I$22 = бінарне вказує, що значення змінних 0 або 1.

– Обмеження $B$15:$I$22 <= 1 та $J$15:$J$22 <= 1 вказують, що у колонках сум змінних за рядками та за стовпцями найбільше значення 1, тобто обирається єдиний шлях.

– Обмеження-нерівність $B$15:$I$22 <= $B$3:$I$10 вказує на те, що там, де стоять нулі у таблиці відстаней, відповідного шляху немає, у розв'язку буде 0.

– Обмеження $C$23:$H$23 = $C$25:$H$25 означають, що протягом всього шляху, в яку вершину прийшли, з такої і виходимо.

Отримали розв'язок за допомогою симплекс-методу, усі обмеження й умови оптимальності виконані. З вершини V_1 треба переміститися у вершину V_2, з вершини V_2 у вершину V_5, з вершини V_5 у вершину V_8. Найкоротший шлях дорівнює 15 км. Якщо вершини будуть знаходитися в різних компонентах зв'язності в неорієнтованому графі, або якщо між ними немає жодного маршруту в орієнтованому графі, розв'язку не існує, тоді програма видасть цей результат також.

При використанні другого підходу, а саме, інструментів Wolfram Mathematica (Wolfram, 2003), створюємо орієнтований зважений граф та матрицю суміжності (рис. 3)

```
vertices = Range[8];
           діапазон
graph = Graph[vertices,
        граф
  {1 → 2, 1 → 4, 2 → 3, 2 → 5, 3 → 8, 4 → 5, 4 → 6,
   5 → 7, 5 → 8, 6 → 7, 7 → 8},
  EdgeWeight → {3, 9, 4, 6, 13, 6, 5, 4, 6, 2, 4},
  вага ребра
  EdgeLabels → "EdgeWeight",
  позначки для ребер
  VertexLabels → "Name"];
  мітки для вершин

weightedAdjMatrix = WeightedAdjacencyMatrix[graph];
                    матриця ваг графа
MatrixForm[weightedAdjMatrix]
матрична форма
```

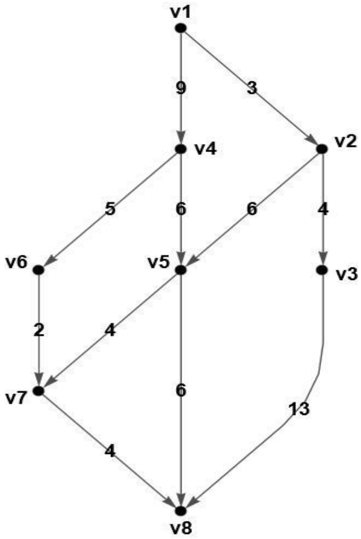


Рис. 3. Представлення території за допомогою графа у Wolfram Mathematica

Джерело: авторська розробка.

Для складних оптимізаційних задач можна розв'язувати задачу симплекс-методом з обмеженнями, які будуються аналогічно MS Excel (рис. 4):

```
solution = NMinimize[{objective, Join[flowConstraints, binaryConstraints]}, variables,
           чисельна мінімізація         з'єднати
  Method → "SimulatedAnnealing"]
```

Рис. 4. Розрахунок оптимального значення у Wolfram Mathematica

Джерело: авторська розробка.

Наприклад, обмеження для того, щоб шлях починався з вершини, до якої прийшов, має вигляд (рис. 5):

```
flowConstraints = Table[Which[i == 1, Total[variables[[Flatten[Position[edges, _DirectedEdge ? (#[[1]] == i &)]]]]] == 1, i == 8,
                  табл⋯  умовний опе⋯  підсумовувати         сплюст⋯  позиція за зразком  орієнтоване ребро графа
    Total[variables[[Flatten[Position[edges, _DirectedEdge ? (#[[2]] == i &)]]]]] == 1, True,
    підсумовувати    сплюст⋯  позиція за зразком  орієнтоване ребро графа                 істина
    Total[variables[[Flatten[Position[edges, _DirectedEdge ? (#[[1]] == i &)]]]]] ==
    підсумовувати    сплюст⋯  позиція за зразком  орієнтоване ребро графа
     Total[variables[[Flatten[Position[edges, _DirectedEdge ? (#[[2]] == i &)]]]]]], {i, vertices}];
     підсумовувати    сплюст⋯  позиція за зразком  орієнтоване ребро графа
```

Рис. 5. Обмеження потоку для кожної вершини

Джерело: авторська розробка.

Але у Wolfram Mathematica існує багато корисних функцій для задач, пов'язаних з задачею про найкоротший шлях (рис. 6.)

```
Shortest Path (FindPath): {1, 2, 5, 8}
Shortest Path Edges: {1 ↔ 2, 2 ↔ 5, 5 ↔ 8}
Shortest Path Weight: 15
```

Рис. 6. Застосування функцій у Wolfram Mathematica

Джерело: авторська розробка.

Наприклад, для розв'язання задачі оптимізації маршруту евакуації поранених з реальними картами місцевості, використовуються функції:

1. Визначення графа:

```
g = Graph[{"A" → "B", "A" → "C", "B" → "D", "C" → "D", "D" → "E", "E" → "B"}, EdgeWeight → {10, 20, 30, 10, 15, 25},
  |граф                                                                          |вага ребра
   VertexLabels → "Name", EdgeLabels → "EdgeWeight"];
  |мітки для вершин        |позначки для ребер
```

2. З можливістю завантаження географічних даних:

```
geoData = GeoGraphics[{GeoMarker[GeoPosition[{50.45, 30.52}]], (*Київ*) GeoMarker[GeoPosition[{49.84, 24.03}], "Hospital"]
          |гео-графіка  |гео-маркер |гео-координати                    |гео-маркер |гео-координати
   (*Львів*)}, GeoRange → Entity["Country", "Ukraine"], GeoBackground → None (*Вимикаємо фон для стабільності*)]
```

3. Відображення карти з маршрутом:

```
GeoGraphics[{GeoPath[{GeoPosition[{50.45, 30.52}], GeoPosition[{49.84, 24.03}]}],
|гео-графіка |гео-крива |гео-координати          |гео-координати
  GeoMarker[GeoPosition[{50.45, 30.52}], "Київ"], GeoMarker[GeoPosition[{49.84, 24.03}], "Львів"]}, GeoBackground → None]
```

4. FindShortestPath[g,"A","B",Method->"Dijkstra"], що знаходить найкоротший шлях між двома вершинами графа.
5. Візуалізації графа:

```
HighlightGraph[g, PathGraph[{"A", "B", "D", "E", "B"}]]
|граф з виокремленн…  |граф маршруту
```

Також оптимізація маршруту прораховується з урахуванням небезпеки

weights={10+10*0.2,20+20*0.4,30+30*0.3,10+10*0.1,15+15*0.5,25+25*0.2}.

Запропоновані підходи були апробовані в навчальному процесі підготовки курсантів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Вони дозволяють курсантам засвоїти основи теорії графів, методів оптимізації та принципів військової логістики. Використання Wolfram Mathematica продемонструвало значні переваги у швидкості та точності обчислень порівняно з MS Excel, особливо у випадках динамічних змін маршруту. Зокрема, Wolfram Mathematica показала на 40% більшу швидкість розрахунків та точність в умовах змінних сценаріїв порівняно з MS Excel. Додатково, для підтвердження переваг можна навести порівняльні таблиці швидкодії та точності обчислень (Kanza et al., 2010).

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання MS Excel для розв’язання задач пошуку найкоротшого маршруту обмежене статичними сценаріями та не забезпечує необхідної гнучкості для оперативного реагування на зміну бойової обстановки, але є простим у використанні, особливо для користувачів без досвіду програмування. Його інструменти, такі як таблиці та вбудовані функції, дозволяють проводити аналіз без складних обчислень.

Wolfram Mathematica у дослідженні було обрано як основний інструмент оптимізації маршрутів у військовій логістиці. Основні причини цього вибору включають:

1. Швидкість обчислень: Wolfram Mathematica дозволяє здійснювати обчислення з високою швидкістю, що є критичним у бойових умовах, де оперативність прийняття рішень має вирішальне значення.

2. Гнучкість у роботі з графами: Інструмент пропонує потужні алгоритми для роботи з графами, такі як FindShortestPath, GraphDistance, та FindShortestPathGraph, які забезпечують ефективний пошук оптимальних маршрутів у складних умовах.

3. Адаптація до змінних умов: Wolfram Mathematica дозволяє динамічно змінювати умови задачі і швидко адаптуватися до змін у тактичній обстановці, що є неможливим з використанням MS Excel.

4. Візуалізація та інтеграція з GIS: Інструмент забезпечує можливість візуалізації маршрутів та інтеграцію з GIS-системами для аналізу реальних карт місцевості, що дозволяє враховувати географічні особливості під час планування військових операцій.

5. Ефективність алгоритмів: Порівняльні тестування показали, що Wolfram Mathematica на 40% швидше здійснює розрахунки та забезпечує вищу точність у порівнянні з MS Excel. Зокрема, результати тестів демонструють значну перевагу у виконанні алгоритмів пошуку найкоротшого шляху та адаптації до реальних сценаріїв бойових дій (Kanza et al., 2010).

6. Можливість розширення: Wolfram Mathematica має багатий набір функцій для додаткового аналізу та оптимізації, таких як GeoDistance, GeoGraphics, GeoElevationData, та RandomGraph, що дозволяє проводити комплексний аналіз та моделювання різноманітних військових сценаріїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич, В., Костенко, А., Плеша, В., Плеша, М., & Хмілярчук, Л. (2023). Задача пошуку найкоротшого шляху: порівняльний аналіз основних алгоритмів. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 99-106, https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-12.
2. Нікольський, Ю. В., Пасічник, В. В., & Щербина, Ю. М. (2007). *Дискретна математика*. К.: Видавнича група BHV.
3. Трофименко, О. Г., Соколов, А. В., Логінова, Н. І., Ахмаметьєва, Г. В., & Чикунов, П. О. (2024). Штучний інтелект у сфері військової логістики. *Системні технології*, *5*(154), 164-171. https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-154-2024-17.
4. Bellman, R. (1958). On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, *16*(1), 87-90.
5. Benhassine, M., Quinn, J., Stewart, D., Arsov, A. A., Ianc, D., Ivan, M., & Van Utterbeeck, F. (2024). Advancing military medical planning in large scale combat operations: Insights from computer simulation and experimentation in NATO's vigorous warrior exercise 2024. *Military Medicine*, *189*, 456-464. https://doi.org/10.1093/milmed/usae152 (https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85201741962&doi=10.1093%2fmilmed%2fusae152&partnerID=40&md5=0d5391c3d9ae82b8a776d546f647ef02)

6. Cao, L., Zhao, X., Zheng, H., & Zhao, B. (2011). Approximating shortest path in social graph. *UC Santa Barbara: Computer Science Department*.
7. Chen, K., Makki, K., & Pissinou, N. (2009). A real-time wireless route guidance system for urban traffic management and its performance evaluation. *In 2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall* (pp. 1-5). http://dx.doi.org/10.1109/VETECF.2009.5378786
8. Díaz-Madroñero, M., Peidro, D., & Mula, J. (2015). A review of tactical optimization models for integrated production and transport routing planning decisions. *Computers and Industrial Engineering*, 88, 518-535. https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.06.010.
9. Dijkstra, E.W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik, 1, 269-271.
10. Ford, L. R., Jr., & Fulkerson, D. R. (1962). Flows in networks. Princeton University Press.
11. Ham, A. (2020). Drone-based material transfer system in a robotic mobile fulfillment center. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *17*(2), 957-965. https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2952523.
12. Kanza, Y., Levin, R., Sagiv, Y., & Safra, E. (2010). Interactive route search in the presence of order constraints. *Proceedings of the VLDB Endowment, 3*(1), 117-128. https://doi.org/10.14778/1920841.1920861.
13. Levin, R., & Kanza, Y. (2014). TARS: *Traffic-aware route search. GeoInformatica*, *18*(3), 461-500. https://doi.org/10.1007/s10707-013-0185-z.
14. Loucks, D.P. (2022). Solving Models Using Excel. *International Series in Operations Research and Management Science* (Vol. 318, pp. 65-74). https://doi.org/10.1007/978-3-030-93986-1_6.
15. Sharifzadeh, M., Kolahdouzan, M., Shahabi, C. (2008). The optimal sequenced route query. *VLDB Journal*, *17*(4), 765-787. https://doi.org/10.1007/s00778-006-0038-6.
16. Shi, H., Cao, W., Zhu, S., & Zhu, B. (2009). Applications of the improved A* algorithm for route planning. In *2009 2nd International Conference on Intelligent Computing Technology and Automation,* 1, 299-302). http://dx.doi.org/10.1109/ICICTA.2009.79.
17. Wolfram, S. (2003). *The Mathematica book (5th ed.).* Champaign: Wolfram Media.
18. Zhang, L., Wang, N., & Zhang, C. (2022). Research on optimization of logistics supply path selection based on genetic algorithm. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 1*, 188-192. https://doi.org/10.54097/hset.v1i.460.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Babych, V., Kostenko, A., Plesha, V., Plesha, M., & Khmiliarchuk, L. (2023). Zadacha poshuku naikorotshoho shliakhu: porivnialnyi analiz osnovnykh alhorytmiv. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security, 2*, 99-106. https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-12 (in Ukrainian).
2. Nikolskyi, Yu. V., Pasichnyk, V. V., & Shcherbyna, Yu. M. (2007). Dyskretna matematyka. K.: Vydavnycha hrupa BHV. (in Ukrainian).
3. Trofymenko, O. H., Sokolov, A. V., Loginova, N. I., Akhmametiieva, H. V., & Chikunov, P. O. (2024). Artificial Intelligence in Military Logistics. *System Technologies, 5*(154), 164-171. https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-154-2024-17.
4. Bellman, R. (1958). On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, *16*(1), 87-90.
5. Benhassine, M., Quinn, J., Stewart, D., Arsov, A. A., Ianc, D., Ivan, M., & Van Utterbeeck, F. (2024). Advancing military medical planning in large scale combat operations: Insights from computer simulation and experimentation in NATO's vigorous warrior exercise 2024. *Military Medicine, 189*, 456-464. https://doi.org/10.1093/milmed/usae152.
6. Cao, L., Zhao, X., Zheng, H., & Zhao, B. (2011). Approximating shortest path in social graph. *UC Santa Barbara: Computer Science Department*.
7. Chen, K., Makki, K., & Pissinou, N. (2009). A real-time wireless route guidance system for urban traffic management and its performance evaluation. *In 2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall* (pp. 1-5). http://dx.doi.org/10.1109/VETECF.2009.5378786
8. Díaz-Madroñero, M., Peidro, D., & Mula, J. (2015). A review of tactical optimization models for integrated production and transport routing planning decisions. *Computers and Industrial Engineering*, 88, 518 - 535. https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.06.010.
9. Dijkstra, E.W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik, 1, 269-271.
10. Ford, L. R., Jr., & Fulkerson, D. R. (1962). Flows in networks. Princeton University Press.
11. Ham, A. (2020). Drone-based material transfer system in a robotic mobile fulfillment center. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *17*(2), 957-965. https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2952523.
12. Kanza, Y., Levin, R., Sagiv, Y., & Safra, E. (2010). Interactive route search in the presence of order constraints. *Proceedings of the VLDB Endowment, 3*(1), 117-128. https://doi.org/10.14778/1920841.1920861.
13. Levin, R., & Kanza, Y. (2014). TARS: *Traffic-aware route search. GeoInformatica*, *18*(3), 461-500. https://doi.org/10.1007/s10707-013-0185-z.
14. Loucks, D.P. (2022). Solving Models Using Excel. *International Series in Operations Research and Management Science* (Vol. 318, pp. 65-74). https://doi.org/10.1007/978-3-030-93986-1_6.
15. Sharifzadeh, M., Kolahdouzan, M., Shahabi, C. (2008). The optimal sequenced route query. *VLDB Journal*, *17*(4), 765-787. https://doi.org/10.1007/s00778-006-0038-6.
16. Shi, H., Cao, W., Zhu, S., & Zhu, B. (2009). Applications of the improved A* algorithm for route planning. In *2009 2nd International Conference on Intelligent Computing Technology and Automation,* 1, 299-302). http://dx.doi.org/10.1109/ICICTA.2009.79.
17. Wolfram, S. (2003). *The Mathematica book (5th ed.).* Champaign: Wolfram Media.
18. Zhang, L., Wang, N., & Zhang, C. (2022). Research on optimization of logistics supply path selection based on genetic algorithm. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 1*, 188-192. https://doi.org/10.54097/hset.v1i.460.

| *Матеріал надійшов до редакції: 07.02.2025 р.* | *Прийнято до друку: 24.03.2025 р.* | *Опубліковано: 29.04.2025 р.* |