



Наукові перспективи
Видавнича група

№ 2 (56)

2026

НАУКА і ТЕХНІКА

СЬОГОДНІ

З Україною

в серці!



Видавнича група «Наукові перспективи»

Всеукраїнська Асамблея докторів наук із державного управління

Асоціація науковців України

«Наука і техніка сьогодні»

Випуск № 2(56) 2026

Київ – 2026

Publishing Group «Scientific Perspectives»

Ukrainian Assembly of Doctors of Sciences in Public Administration

Association of Scientists of Ukraine

"Science and technology today"

Issue № 2(56) 2026

Kyiv – 2026

ISSN 2786-6025 Online

УДК 001.32:1 /3](477)(02)

R40-05553

DOI:  Crossref
we use DOIs

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-2\(56\)](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-2(56))

**«Наука і техніка сьогодні» (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка»,
Серія «Фізико-математичні науки», Серія «Техніка»):
журнал. 2026. № 2(56) 2026. С. 2589**



*Згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 07.04.2022 № 320
журналу присвоєно категорію "Б" із економіки та педагогіки
(спеціальності – 015 - Педагогічні науки; 076 - Економічні науки)*

*Згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 06.06.2022 № 530 журналу
присвоєно категорію "Б" із права (спеціальність – 081 Юридичні науки)*

*Згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 10.10.2022 № 894 журналу присвоєно
категорію "Б" із техніки (спеціальність - 122 Комп'ютерні науки)*

*Журнал видається за підтримки Міждержавної гільдії інженерів консультантів, Інституту філософії та
соціології Національної Академії Наук Азербайджану (Баку, Азербайджан), громадської організації «Християнська
академія педагогічних наук України» та громадської організації «Всеукраїнська асоціація педагогів і психологів з
духовно-морального виховання»*

*Рекомендовано до видавництва Президією Всеукраїнської Асамблеї докторів наук з державного управління
(Рішення від 24.02.2026, № 8/2-26)*



Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index
Copernicus (IC), міжнародної пошукової системи Google Scholar та до
міжнародної наукометричної бази даних Research Bible

Згідно Порядку формування Переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказом МОН
України від 15.01.2018 № 32, повнотекстовий доступ до наукових статей журналу представлений на платформі
«Наукова періодика України» в Національній бібліотеці України імені В.І. Вернадського НАН України та в
Національному репозитарії академічних текстів

Головний редактор:



Головний редактор: Коренева Інна Миколаївна - доктор педагогічних наук, професор, декан факультету природничої і фізико-математичної освіти Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка; професор кафедри теорії і методики викладання природничих дисциплін Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка (Україна)

Редакційна колегія:

- **Бабчук Олена Григоріївна** - кандидат психологічних наук, доцент, завідувач кафедри психології та педагогіки Одеського державного університету внутрішніх справ (Україна)
- **Біляковська Ольга Орестівна** - доктор педагогічних наук, професор, завідувачка кафедри загальної педагогіки та педагогіки вищої школи Львівського національного університету імені Івана Франка (Україна)
- **Гончарук Валентина Анатоліївна** - кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри української літератури, українознавства та методик їх навчання Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини (Україна)

ЗМІСТ

СЕРІЯ «Право»

Riabykh N. <i>PROBLEMS OF IMPLEMENTING THE RIGHT TO DEFENSE AT THE PRE-TRIAL INVESTIGATION STAGE</i>	30
Triukhan O.A. <i>PERFORMANCE REVIEW AS THE MAIN METHOD OF EVALUATING EMPLOYEE COMPETENCIES: THEORETICAL AND LEGAL ASPECTS</i>	42
Арнаутова А.С. <i>ОСОБЛИВОСТІ СТАДІЇ ОСКАРЖЕННЯ ВІДКРИТИХ ТОРГІВ: АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВИЙ АСПЕКТ</i>	52
Гарбазей Д.О., Кузнецова Л.В. <i>ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ РІШЕНЬ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СУДУ З ПРАВ ЛЮДИНИ В КРИМІНАЛЬНЕ ПРАВО УКРАЇНИ</i>	61
Дітковський А.М. <i>ПРОЦЕСУАЛЬНО-ПРАВОВІ ГАРАНТІЇ ЗАХИСТУ ПРАВ ПЛАТНИКІВ ПОДАТКІВ ПІД ЧАС ПРОЦЕДУР МІЖНАРОДНОГО ОБМІНУ ПОДАТКОВОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ</i>	73
Єфіменко І.В. <i>ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ ЯК ОБ'ЄКТ ПРОТИДІЇ ОРГАНІВ ПРАВОПОРЯДКУ</i>	84
Журба М.А. <i>РОЛЬ УКРАЇНСЬКИХ ОСВІТНЬО-НАУКОВИХ ЦЕНТРІВ ЕМІГРАЦІЇ У РОЗВИТКУ ДЕРЖАВНИЦЬКИХ КОНЦЕПЦІЙ XX СТ.</i>	95

Шевчук Олександр Федорович кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, <https://orcid.org/0000-0002-8600-0700>

Козловський Андрій Володимирович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, <https://orcid.org/0000-0001-9697-1511>

Паночишин Юрій Миколайович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, <https://orcid.org/0000-0003-1546-3422>

Сімончук Сергій Володимирович асистент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, <https://orcid.org/0009-0000-7295-5357>

Дусик Юлія Андріївна студентка факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ WEB-СИСТЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ДОСТАВКИ З УРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНЬ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

Анотація. У роботі розглянуто задачу оптимізації маршрутів доставки торговельної мережі з урахуванням обмежень вантажопідйомності транспортних засобів та обґрунтовано доцільність поєднання алгоритмічних методів маршрутизації з інтерактивною WEB-реалізацією. Проведене порівняльне дослідження методів просторової кластеризації показало, що алгоритм Clarke–Wright у поєднанні з гібридною маршрутизацією всередині кластерів забезпечує кращий компроміс між якістю маршрутів, рівнем використання транспортних ресурсів та обчислювальною ефективністю в умовах різної просторової структури пунктів доставки, що підтвердило доцільність його використання як базового алгоритмічного ядра системи.

Розроблено клієнт-серверну WEB-систему оптимізації маршрутів доставки, у якій ресурсоємні обчислення виконуються на серверній стороні, а

ISSN 2786-6025 Online

клієнтська частина забезпечує інтерактивне введення даних, візуалізацію результатів та аналітичну оцінку сформованих маршрутів. Запропонована архітектура дозволяє масштабувати систему зі зростанням кількості пунктів доставки та підтримує сценарний аналіз логістичних рішень.

Експериментальна верифікація підтвердила коректність роботи системи в умовах середнього та підвищеного навантаження. Система стабільно формує кластери без порушення заданих обмежень, будує маршрути з допустимими характеристиками та забезпечує прийнятний час обчислень для інтерактивного використання. Також встановлено, що реалізований механізм автономної візуалізації маршрутів дозволяє зберігати працездатність WEB-системи за умов нестабільного або відсутнього мережевого з'єднання, що є критично важливим для практичного застосування логістичних інформаційних систем в сучасних умовах експлуатації в Україні.

Отримані результати свідчать про ефективність запропонованого підходу та доцільність його використання як прикладної WEB-платформи для оптимізації маршрутів доставки з урахуванням обмежень вантажопідйомності, а також як основи для подальшого розвитку системи в напрямку підтримки динамічних даних і розширеної аналітики.

Ключові слова: WEB-система, задача комівояжера, графові моделі, багатокритеріальна оптимізація, алгоритми кластеризації, програмування, програмна реалізація.

Shevchuk Oleksandr Fedorovych Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department for Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, <https://orcid.org/0000-0002-8600-0700>

Kozlovskiy Andrii Volodymyrovych Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department for Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, <https://orcid.org/0000-0001-9697-1511>

Panochyshyn Yurii Mykolaiovych Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department for Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, <https://orcid.org/0000-0003-1546-3422>

Simonchuk Serhii Volodymyrovych Master of Computer Science, Assistant at the Department for Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, <https://orcid.org/0009-0000-7295-5357>;

Dusyk Yulia Andriivna student, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

FEATURES OF IMPLEMENTATION OF A WEB-BASED DELIVERY ROUTE OPTIMIZATION SYSTEM WITH VEHICLE CAPACITY CONSTRAINTS

Abstract. This study addresses the problem of optimizing delivery routes for retail networks while considering vehicle capacity constraints and substantiates the feasibility of combining algorithmic routing methods with an interactive web-based implementation. A comparative analysis of spatial clustering methods demonstrated that the Clarke–Wright algorithm, combined with hybrid routing within clusters, provides the best trade-off between route quality, vehicle utilization, and computational efficiency under varying spatial distributions of delivery points, confirming its suitability as the core algorithm of the system.

A client-server web system for delivery route optimization was developed, where computationally intensive tasks are executed on the server side, while the client side provides interactive data input, visualization of results, and analytical evaluation of generated routes. The proposed architecture enables system scalability with increasing numbers of delivery points and supports scenario-based logistics analysis.

Experimental verification confirmed the correct operation of the system under medium and high workload conditions. The system consistently forms clusters without violating specified constraints, generates routes with acceptable characteristics, and maintains computation times suitable for interactive use. Furthermore, the implemented autonomous route visualization mechanism ensures system operability in conditions of unstable or absent network connectivity, which is critical for practical deployment of logistics information systems in modern operational conditions in Ukraine.

The obtained results demonstrate the effectiveness of the proposed approach and its suitability as a practical web platform for delivery route optimization considering vehicle capacity constraints, as well as a foundation for further development towards dynamic data support and advanced analytics.

Keywords: web system, traveling salesman problem, graph models, multi-criteria optimization, clustering algorithms, programming, software implementation.

Постановка проблеми. Оптимізація маршрутів доставки є однією з ключових задач сучасних логістичних систем, оскільки безпосередньо впливає на ефективність використання транспортних ресурсів, часові витрати та загальну собівартість. Ускладнення логістичних процесів, зростання кількості торгових точок і необхідність врахування обмежень вантажопідйомності

ISSN 2786-6025 Online

транспортних засобів зумовлюють потребу в програмних системах, здатних підтримувати гнучке планування та аналіз маршрутів.

Більшість існуючих WEB-рішень для маршрутизації доставки орієнтовані на автоматизоване формування маршрутів із використанням зовнішніх сервісів картографії та маршрутизації. При цьому клієнтська частина таких систем зазвичай виконує допоміжну роль, забезпечуючи базове введення даних і візуалізацію результатів, що обмежує можливості інтерактивної роботи, аналітичного аналізу та автономного використання [1-5].

Окремою проблемою є недостатня підтримка комплексного врахування обмежень вантажопідйомності на рівні взаємодії користувача з результатами оптимізації, а також відсутність альтернативних механізмів візуалізації маршрутів у разі недоступності зовнішніх API. Це, зокрема, знижує стійкість WEB-систем і обмежує їхнє застосування у критичних умовах функціонування інфраструктури України.

У зв'язку з цим актуальною є задача розробки WEB-системи оптимізації маршрутів доставки, яка поєднує алгоритмічні методи оптимізації з інтерактивним користувацьким інтерфейсом, забезпечує врахування обмежень вантажопідйомності, підтримує автономну візуалізацію маршрутів і дозволяє проводити сценарний аналіз логістичних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема оптимізації маршрутів доставки розглядається в широкому колі наукових досліджень, як варіація NP-складної задачі маршрутизації транспортних засобів, з необхідністю урахування певних обмежень, таких як вантажопідйомність, часові вікна або динамічні умови експлуатації [6-9]. Для розв'язання цієї задачі застосовуються різноманітні підходи, зокрема класичні та метаевристичні методи оптимізації [8], алгоритми локального пошуку та гібридні алгоритми з елементами машинного навчання для прогнозування та адаптивної корекції маршрутів [10, 11]. Окрема увага також приділяється використанню алгоритмів кластеризації як засобу зменшення обчислювальної складності та підвищення ефективності планування маршрутів при великій кількості пунктів доставки [12-16].

Разом із тим, існуючі дослідження переважно зосереджені на алгоритмічних аспектах, тоді як питання розробки прикладних клієнтських WEB-систем залишаються недостатньо висвітленими. У наявних роботах мало уваги приділяється інтерактивному введенню просторових даних, візуалізації маршрутів і кластерів, автономній роботі системи без зовнішніх сервісів та аналітичному порівнянню різних сценаріїв доставки. Більшість комерційних WEB-рішень орієнтовані на кінцевого користувача та приховують алгоритмічні деталі, що, зокрема, обмежує їхнє застосування в дослідницьких і навчальних цілях.

З огляду на це, метою даної статті є розширення функціональних можливостей WEB-системи оптимізації маршрутів доставки торговельної мережі шляхом інтеграції кластеризованої маршрутизації та удосконалення клієнтського інтерфейсу.

Кластеризована маршрутизація з урахуванням обмежень вантажопідйомності

Ключовим компонентом розробленої WEB-системи оптимізації маршрутів доставки є механізм кластеризованої маршрутизації, що враховує обмеження вантажопідйомності транспортних засобів. Це зумовило проведення додаткового дослідження з оцінювання впливу різних методів кластеризації на якість сформованих маршрутів, рівень використання транспортних ресурсів та обчислювальну складність задачі.

Для аналізу використано три поширені підходи до просторової кластеризації пунктів доставки: K-means, Sweep та Clarke–Wright. Дослідження виконувалося на імітаційних сценарних датасетах, які відрізняються просторовою структурою торговельних точок: рівномірному (Uniform), скупченому (Clustered) та комбінованому (Mixture), що дозволило проаналізувати поведінку алгоритмів у різних логістичних умовах, характерних для міських і приміських мереж доставки.

Побудова маршрутів усередині сформованих кластерів здійснювалася з урахуванням їхньої розмірності. Для кластерів малої кількості пунктів ($n < 16$) застосовано точний алгоритм динамічного програмування Held–Karp, що забезпечує знаходження оптимального розв’язку задачі комівояжера. Для кластерів більшої розмірності використано евристичний алгоритм найближчого сусіда з подальшою локальною оптимізацією методом 2-opt, що дозволяє досягти прийняттого балансу між якістю маршруту та швидкістю [12].

Результати експериментів (рис. 1) показали, що для рівномірного розподілу торговельних точок усі методи демонструють порівнянну ефективність. Водночас у сценаріях зі скупченими та комбінованими структурами алгоритм Clarke–Wright забезпечує мінімальний приріст довжини маршрутів та кращий рівень завантаження транспортних засобів. Метод Sweep показує стабільні, але середні результати, тоді як використання K-means у складних просторових умовах призводить до погіршення якості рішень, попри високу швидкість.

	clust_method	dataset	total_points	total_demand, kg	L_global, km	L_clustered, km	diff_km	ΔL, %	N_trucks	Q_max, kg	min_cluster size	max_cluster size	t, s
0	Clarke-W...	Uniform	40	12335	115.10	144.70	29.60	25.72	4	3959	6	13	0.62
1	Clarke-W...	Clustered	40	12865	62.80	80.13	17.33	27.61	4	3964	4	14	0.94
2	Clarke-W...	Mixture	40	12387	131.25	161.60	30.35	23.13	4	3992	7	13	0.79
3	Sweep	Uniform	40	12335	115.10	144.74	29.64	25.75	4	3975	2	14	0.98
4	Sweep	Clustered	40	12865	62.80	90.08	27.28	43.45	4	3902	4	13	0.47
5	Sweep	Mixture	40	12387	131.25	178.72	47.47	36.17	4	3744	3	13	0.67
6	KMeans	Uniform	40	12335	115.10	148.97	33.87	29.42	4	3660	7	12	0.25
7	KMeans	Clustered	40	12865	62.80	108.11	45.31	72.15	7	2616	3	8	0.15
8	KMeans	Mixture	40	12387	131.25	342.09	210.84	160.64	14	3992	1	13	0.72

Рис. 1. Аналітичні результати тестування методів кластеризації маршрутів доставки для різних сценаріїв просторового розподілу пунктів доставки

Таким чином, для реалізації серверної частини WEB-системи обрано комбінацію алгоритму кластеризації Clarke–Wright та гібридного підходу до маршрутизації всередині кластерів, що, як показали проведені дослідження, забезпечує оптимальний компроміс між точністю побудованих маршрутів, обчислювальною ефективністю та масштабованістю системи в умовах обмеженої вантажопідйомності.

Архітектура та компоненти WEB-системи

Для реалізації системи оптимізації маршрутів доставки торговельної мережі розроблено веб-застосунок на основі клієнт-серверної архітектури, що забезпечує розподіл обчислювального навантаження: ресурсоємні алгоритми кластеризації та маршрутизації виконуються на сервері, тоді як взаємодія з користувачем та візуалізація маршрутів – на клієнтській стороні. Загальну архітектуру та взаємодію основних компонентів системи наведено на рис. 2.

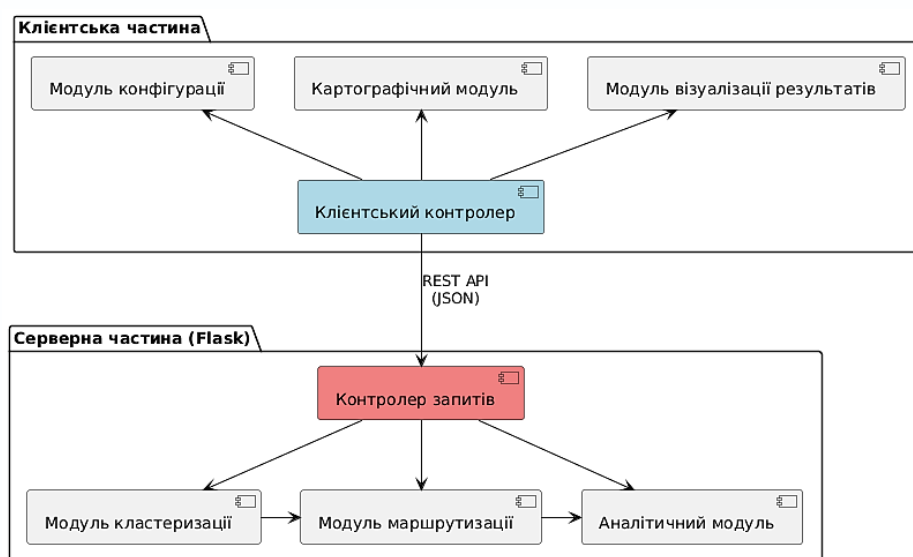


Рис. 2. Архітектура клієнт-серверної WEB-системи оптимізації маршрутів доставки

Клієнтська частина реалізована як веб-інтерфейс на основі HTML, CSS та JavaScript із використанням асинхронних HTTP-запитів (AJAX) для обміну даними з сервером. Структурно клієнтський модуль включає:

1. Модуль конфігурації – забезпечує введення параметрів задачі, включно з торговими точками, транспортними засобами та обмеженнями вантажопідйомності.

2. Картографічний модуль – інтегрує бібліотеку Leaflet та OpenStreetMap для відображення геопросторових даних і маршрутів.

3. Модуль візуалізації результатів – забезпечує графічне представлення маршрутів та кластерів, а також відображення аналітичних даних щодо ефективності побудованих маршрутів.

4. Клієнтський контролер – координує взаємодію між модулями, формує запити на сервер та обробляє відповіді у форматі JSON.

Серверна частина реалізована мовою Python із використанням фреймворку Flask. Основні функції серверного модуля включають:

1. Контролер запитів – приймає параметри задачі від клієнта, маршрутизує їх до відповідних обчислювальних модулів.

2. Модуль кластеризації – реалізує алгоритми розбиття торгових точок на підгрупи (алгоритм Clarke–Wright) для зменшення складності обчислень.

3. Модуль маршрутизації – будує оптимальні маршрути для кожного кластеру з урахуванням обмежень вантажопідйомності транспортних засобів.

4. Аналітичний модуль – обчислює показники ефективності маршрутів, генерує дані для візуалізації та сценарного тестування.

Взаємодія між клієнтською та серверною частинами здійснюється через REST API. Сценарій роботи системи: користувач задає параметри задачі через веб-інтерфейс, клієнт формує запит і надсилає його на сервер, сервер обробляє дані, виконує кластеризацію та маршрутизацію, а результати повертаються клієнту для інтерактивної візуалізації на карті.

Запропонований підхід забезпечує масштабованість системи, автономну роботу клієнтської частини та можливість проведення аналітики й сценарного тестування маршрутів у різних умовах.

Експериментальна верифікація та оцінка результатів розробки

Експериментальна перевірка розробленої WEB-системи оптимізації маршрутів доставки була спрямована на оцінку коректності інтеграції кластеризованої маршрутизації, обчислювальної ефективності алгоритмів та зручності клієнтської реалізації. Тестування проводилося на імітаційних сценарних датасетах з різною кількістю пунктів доставки та різною просторовою структурою, що дозволило оцінити поведінку системи в умовах, наближених до реальних логістичних задач (рис. 3).

Результати тестування підтвердили, що розроблена система коректно формує кластери відповідно до заданих обмежень та будує маршрути без перевищення допустимого навантаження транспортних засобів. Час виконання обчислень залишається прийнятним для задач середньої розмірності, що підтверджує доцільність комплексного використання обраного методу кластеризації Clarke–Wright у поєднанні з внутрішньою маршрутизацією в межах сформованих кластерів.

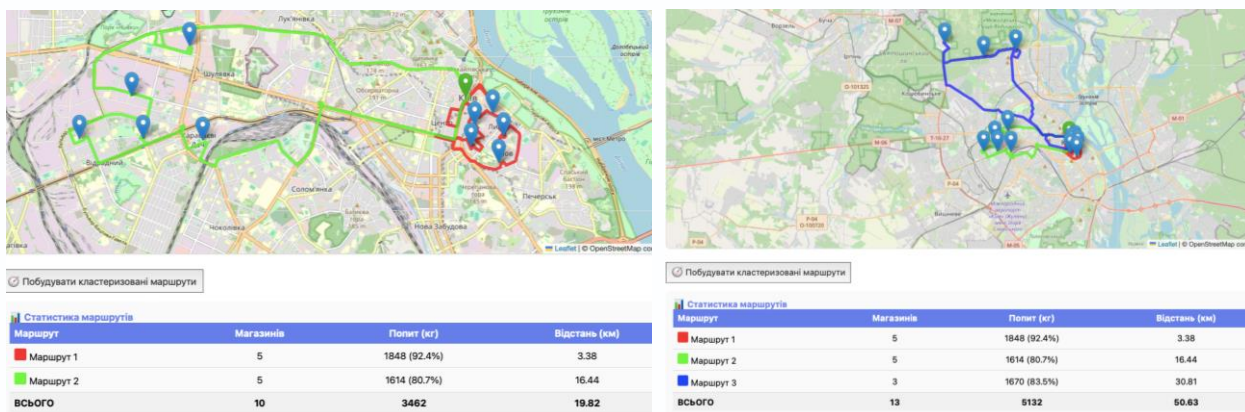


Рис. 3. Тестування побудови кластеризованих маршрутів з обмеженою вантажопідйомністю та різною кількістю пунктів доставки

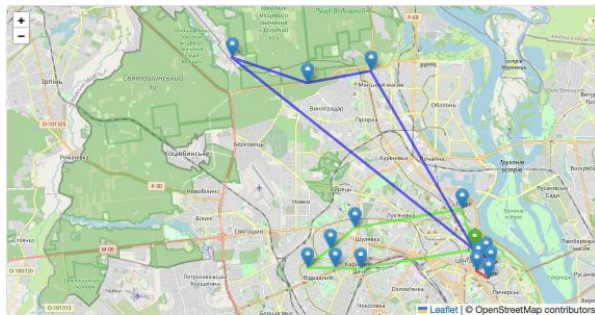
Окрему увагу приділено також перевірці автономності функціонування системи. Експериментальні сценарії показали, що за умов нестабільного або повністю відсутнього мережевого з'єднання, зокрема внаслідок систематичних відключень електроенергії та тривалих блекаутів, система зберігає працездатність і забезпечує побудову маршрутів на основі власних обчислювальних модулів.

У такому режимі послідовність відвідування пунктів доставки відображається на карті у вигляді ламаних ліній без використання зовнішніх сервісів маршрутизації (рис. 4).

Реалізований підхід є доволі актуальним та практично значущим для експлуатації логістичних інформаційних систем в сучасних критичних умовах функціонування інфраструктури України.

Карта магазинів

Головна Магазини Вийти



Побудувати кластеризовані маршрути

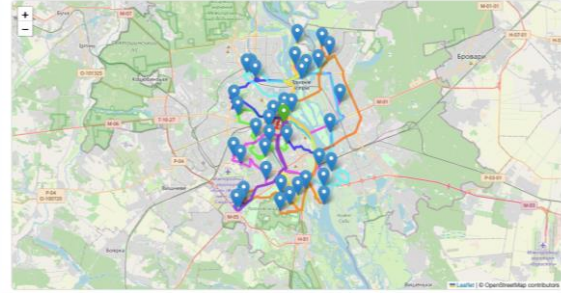
Маршрут	Магазинів	Попит (кг)	Відстань (км)
Маршрут 1	5	1848 (92.4%)	3.38
Маршрут 2	6	1814 (90.7%)	17.83
Маршрут 3	3	1670 (83.5%)	30.81
Всього	14	5332	52.02

Інструкція: Клікніть на карті, щоб додати новий магазин у вибраному місці.

Рис. 4. Побудова кластеризованого маршруту при відсутності з'єднання із сервісом маршрутизації

Карта магазинів

Головна Магазини Вийти



Статистика маршрутів

Маршрут	Магазинів	Попит (кг)	Відстань (км)
Маршрут 1	5	1650 (82.5%)	6.31
Маршрут 2	5	1747 (87.4%)	14.97
Маршрут 3	5	1792 (89.6%)	25.19
Маршрут 4	6	1986 (99.3%)	34.2
Маршрут 5	5	1833 (91.6%)	34.08
Маршрут 6	5	1713 (85.7%)	35.39
Маршрут 7	5	1698 (84.9%)	41.85
Маршрут 8	2	652 (32.6%)	19.6
Всього	38	13071	211.59

Рис. 5. Кластеризація маршруту при підвищеному навантаженні системи (38 торгових точок)

Також з метою забезпечення відтворюваності експериментів і об'єктивної оцінки роботи алгоритмічного ядра виконувалося додаткове тестування із використанням окремого програмного сценарію, що безпосередньо взаємодіє з серверною частиною WEB-системи. У межах цього сценарію здійснювалося автоматизоване завантаження даних про депо та торгові точки з бази даних, формування вхідних параметрів задачі та ініціація процесу побудови кластеризованих маршрутів із заданими обмеженнями. Окрім просторової структури маршрутів, отримувалися аналітичні показники, зокрема сумарний попит, кількість маршрутів, загальна та середня довжина маршрутів, а також рівень використання вантажопідйомності.

Результати експериментів показали, що система зберігає коректність роботи при збільшенні розмірності задачі: торгові точки були розподілені на кластери без порушення заданих обмежень, а сформовані маршрути характеризуються збалансованим завантаженням транспортних засобів і допустимими значеннями сумарної довжини. Візуалізацію результатів кластеризації та відповідних маршрутів для одного з розглянутих сценаріїв із підвищеним навантаженням системи наведено на рис. 5.

Отримані аналітичні дані свідчать про стабільність роботи алгоритмічного ядра та ефективність інтеграції кластеризованої маршрутизації у WEB-систему. При цьому час обчислень залишається прийнятним для інтерактивного використання, що підтверджує можливість застосування розробленого рішення для задач середньої та підвищеної складності в практичних умовах експлуатації.

Висновки. У роботі розроблено WEB-систему оптимізації маршрутів доставки, що поєднує кластеризовану маршрутизацію з інтерактивним клієнтським інтерфейсом та враховує обмеження вантажопідйомності транспортних засобів. За результатами експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність використання алгоритму Clarke–Wright у поєднанні з внутрішньою маршрутизацією в межах кластерів, що забезпечує стабільну якість маршрутів за різної просторової структури пунктів доставки.

Реалізована клієнт-серверна архітектура забезпечує ефективний розподіл обчислювального навантаження, масштабованість системи та підтримку сценарного аналізу. Проведене тестування підтвердило коректність роботи розробленого рішення в умовах середнього та підвищеного навантаження, а також прийнятний час обчислень для інтерактивного використання.

Важливою перевагою системи є підтримка автономної побудови та візуалізації маршрутів у разі нестабільного або відсутнього мережевого з'єднання, що підвищує практичну цінність розробки для застосування в реальних умовах експлуатації логістичних інформаційних систем в Україні.

Перспективи подальших досліджень полягають у розвитку багато-критеріальної оптимізації маршрутів доставки з урахуванням реального складу транспортного парку, зокрема різної вантажопідйомності та кількості доступних транспортних засобів, а також пошуку оптимальних компромісів між довжиною маршрутів, рівнем завантаження та числом задіяних транспортних одиниць.

Література:

1. Routific Solutions Inc. (2026). *Delivery route planner & route optimization software*. Routific. [Online]. Retrieved from <https://www.routific.com/>
2. OptimoRoute. (2026). *Delivery route planning & field service scheduling*. OptimoRoute. [Online]. Retrieved from <https://optimoroute.com/>
3. MyRouteOnline. (2026). *Route optimization software*. MyRouteOnline. [Online]. Retrieved from <https://www.myrouteonline.com/>
4. Route4Me, Inc. (2025). *Enterprise-grade route optimization software*. Route4Me. [Online]. Retrieved from <https://route4me.com/>
5. DevOpsSchool.com. (2025). *Top 10 route planning tools in 2025: Features, pros, cons & comparison*. DevOpsSchool. [Online]. Retrieved from <https://www.devopsschool.com/blog/top-10-route-planning-tools-in-2025-features-pros-cons-comparison/>
6. Chen, Z. (2025). Algorithm and application in vehicle routing problem: A review. *Journal of Electronic Research and Application*, 9(2), 166–174. DOI: <https://doi.org/10.26689/jera.v9i2.9939>
7. Soto-Concha, R., Escobar, J. W., Morillo-Torres, D., & Linfati, R. (2025). The Vehicle-Routing Problem with Satellites Utilization: A Systematic Review of the Literature. *Mathematics*, 13(7), 1092. DOI: <https://doi.org/10.3390/math13071092>
8. Ishchenko, H., Shevchuk, O. (2025) Information system for adaptive transportation planning with consideration of road traffic variability. *Computer Systems and Information Technologies*. 3. 47-56, doi:10.31891/csit-2025-3-5.

9. Іщенко Г. А., Шевчук О. Ф. Особливості моделювання дорожнього трафіку для адаптивного планування перевезень. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2025. № 4 (84). С. 56-60. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-84-6>

10. Tiwari, K. V., & Sharma, S. K. (2023). An optimization model for vehicle routing problem in last-mile delivery. *Expert Systems with Applications*, 222, 119789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119789>

11. Кулавець А., Буров Є. Метод прогнозування затримок доставок та оптимізації маршрутів у логістичних системах на основі графових нейронних мереж. *Інформаційні системи та мережі*, 2025. Вип. 18(1), С. 58-66. DOI: <https://doi.org/10.23939/sisn2025.18.1.058>

12. Лещенко Ю. Я., Юхимчук М. С., Дубовой В. М. Кластеризація об'єктів у завданнях масової доставки «останньої милі». *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, 2025. № 3. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-3-75-85>

13. Чорна О. С., Дідик П. Ю., Тітов С.В., Тітова О. В. Використання алгоритмів кластеризації для автоматизації планування маршрутів у задачах маршрутизації перевезень. *Системи обробки інформації*. 2024. № 1 (176). С. 115-123. DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2024.176.14>

14. Arifta, E., & Rakhmawati, F. (2023). Analysis of Book Distribution Routes Using the Capacity Vehicle Routing Problem (CVRP) Method Using the Sweep Algorithm. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(1), 360-367. DOI: <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.12013>

15. Pratiwi, M., & Lubis, R. S. (2023). Distribution Route Optimization Using Nearest Neighbor Algorithm and Clarke and Wright Savings. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(3), 1638-1652. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.12622>

16. Wu, Y., Cai, Y. & Fang, C. (2025) An efficient hybrid framework with knowledge transfer for solving capacitated vehicle routing problems. *Complex Intell. Syst.* 11, 337. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-025-01920-x>

References:

1. Routific Solutions Inc. (2026). *Delivery route planner & route optimization software*. Routific. [Online]. Retrieved from <https://www.routific.com/>

2. OptimoRoute. (2026). *Delivery route planning & field service scheduling*. OptimoRoute. [Online]. Retrieved from <https://optimoroute.com/>

3. MyRouteOnline. (2026). *Route optimization software*. MyRouteOnline. [Online]. Retrieved from <https://www.myrouteonline.com/>

4. Route4Me, Inc. (2025). *Enterprise-grade route optimization software*. Route4Me. [Online]. Retrieved from <https://route4me.com/>

5. DevOpsSchool.com. (2025). *Top 10 route planning tools in 2025: Features, pros, cons & comparison*. DevOpsSchool. [Online]. Retrieved from <https://www.devopsschool.com/blog/top-10-route-planning-tools-in-2025-features-pros-cons-comparison/>

6. Chen, Z. (2025). Algorithm and application in vehicle routing problem: A review. *Journal of Electronic Research and Application*, 9(2), 166–174. DOI: <https://doi.org/10.26689/jera.v9i2.9939>

7. Soto-Concha, R., Escobar, J. W., Morillo-Torres, D., & Linfati, R. (2025). The Vehicle-Routing Problem with Satellites Utilization: A Systematic Review of the Literature. *Mathematics*, 13(7), 1092. DOI: <https://doi.org/10.3390/math13071092>

ISSN 2786-6025 Online

8. Ishchenko, H., Shevchuk, O. (2025) Information system for adaptive transportation planning with consideration of road traffic variability. *Computer Systems and Information Technologies*. 3. 47-56, doi:10.31891/csit-2025-3-5.

9. Ishchenko, H. A., & Shevchuk, O. F. (2025). Osoblyvosti modeliuвання dorozhnoho trafiku dlia adaptivnoho planuvannya perevezen [Features of road traffic modeling for adaptive transportation planning]. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*, 84(4), 56–60. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-84-6> [in Ukrainian].

10. Tiwari, K. V., & Sharma, S. K. (2023). An optimization model for vehicle routing problem in last-mile delivery. *Expert Systems with Applications*, 222, 119789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119789>

11. Kulavets, A., & Burov, Ye. (2025). Metod prohnozuvannya zatrimok dostavok ta optymizatsii marshrutiv u lohistychnykh systemakh na osnovi hrafovyykh neironnykh merezh [Method for predicting delivery delays and optimizing routes in logistic systems based on graph neural networks]. *Information Systems and Networks*, 18(1), 58–66. <https://doi.org/10.23939/sisn2025.18.1.058> [in Ukrainian].

12. Leshchenko, Yu. Ya., Yukhymchuk, M. S., & Dubovoy, V. M. (2025). Klasteryzatsiia ob'ektiv u zavdannakh masovoi dostavky “ostannoi myli” [Clustering of objects in last-mile mass delivery tasks]. *Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, (3), 75–85. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-3-75-85> [in Ukrainian].

13. Chorna, O. S., Didyk, P. Yu., Titov, S. V., & Titova, O. V. (2024). Vykorystannia alhorytmiv klasteryzatsii dlia avtomatyzatsii planuvannya marshrutiv u zadachakh marshrutyzatsii perevezen [Use of clustering algorithms for automating route planning in transportation routing tasks]. *Systemy obrobky informatsii*, 1(176), 115–123. <https://doi.org/10.30748/soi.2024.176.14> [in Ukrainian].

14. Arifta, E., & Rakhmawati, F. (2023). Analysis of Book Distribution Routes Using the Capacity Vehicle Routing Problem (CVRP) Method Using the Sweep Algorithm. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(1), 360-367. DOI: <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.12013>

15. Pratiwi, M., & Lubis, R. S. (2023). Distribution Route Optimization Using Nearest Neighbor Algorithm and Clarke and Wright Savings. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(3), 1638-1652. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.12622>

16. Wu, Y., Cai, Y. & Fang, C. (2025) An efficient hybrid framework with knowledge transfer for solving capacitated vehicle routing problems. *Complex Intell. Syst.* 11, 337. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-025-01920-x>

Дата першого надходження статті до видання: 04.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.02.2026