

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Навчально-науковий інститут кібернетики, інформаційних
технологій та інженерії

Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики

"До захисту допущена"
Зав. кафедри комп'ютерних наук та
прикладної математики
д.т.н., проф. Ю.В. Турбал
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка рекомендаційних систем для туристичної галузі на основі React

Виконав: Мосійчук Юрій Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

група ІПЗ-41

Керівник: ст. викладач, аспірант Кубай О. В.
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище, ініціали)

(підпис)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	4
1. ЗНАЧЕННЯ ТУРИЗМУ В СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОМУ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ.....	5
1.1. Сучасний стан туристичної галузі в Україні.....	5
1.2. Роль туризму в економічному розвитку регіонів.....	7
1.3. Важливість цифрових технологій у туризмі.....	9
1.4. Проблеми та перспективи розвитку туризму в Україні.....	11
2. АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	13
2.1. Існуючі програмні рішення у сфері туристичних рекомендацій.....	13
2.2. Обґрунтування вибору технологій (ASP.net Core Web Api, React).....	16
2.3. Постановка задачі маршрутизації з прикладними обмеженнями	17
2.4. Вибір алгоритмів формування маршрутів.....	19
2.4.1. Алгоритм A* та результати його використання.....	19
2.4.2. Комбінований підхід: жадібний алгоритм та оптимізація маршруту за допомогою 2-opt.....	21
2.4.3. Задача оптимального туру та метод її розв'язання Тулашвілі і Турбалом.....	24
2.5. Особливості використання зовнішніх API.....	24
3. ПРАКТИЧНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОЄКТУ.....	28
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 37с., 14 рисунків, 1 таблиця, 10 джерел.

Метою кваліфікаційної роботи: є розробка та впровадження інтелектуальної рекомендаційної системи для оптимізації туристичних маршрутів з використанням сучасних алгоритмів та веб-технологій.

Об'єкт дослідження: процес формування туристичних маршрутів.

Предмет дослідження: методи та інструменти побудови маршрутів із використанням зовнішніх API та вебтехнологій.

Актуальність теми полягає в необхідності створення сучасних рекомендаційних систем для туризму, які забезпечують користувачам зручне планування подорожей з урахуванням особистих уподобань, типу транспорту та доступних туристичних об'єктів. В умовах зростання внутрішнього туризму в Україні та потреби галузі в цифровій трансформації, такі інструменти стають важливим елементом розвитку туристичної інфраструктури. Вони дозволяють підвищити якість обслуговування мандрівників, сприяти популяризації менш відомих локацій і загалом зробити подорожі ефективнішими та комфортнішими.

Ключові слова: рекомендаційна система, туризм, маршрутизація, Web API, Mapbox, Here, ASP.NET Core, React, онлайн-сервіси, алгоритми.

ВСТУП

Туристична індустрія в епоху цифрових технологій динамічно розвивається, вимагаючи постійного оновлення підходів до обслуговування клієнтів та адаптації до нових технологічних змін. Туристична сфера України, попри існуючі виклики, зберігає свою економічну значущість та демонструє можливості для майбутнього зростання. Особливої важливості набуває завдання максимального використання туристичного потенціалу країни через розробку систем, що здатні пропонувати індивідуальні рішення для кожного мандрівника.

Сучасний турист очікує отримати не просто перелік цікавих місць, а комплексне рішення, що включає оптимальний план подорожі з урахуванням географічного розташування об'єктів, доступного часу, персональних інтересів, фінансових можливостей та транспортної доступності. Наявні методи планування туристичних подорожей зазвичай не забезпечують комплексного підходу до вирішення цих завдань, що призводить до нераціонального витрачання часу та коштів мандрівників.

Предметом дослідження у цій кваліфікаційній роботі є розробка веб-платформи для автоматизованого створення туристичних маршрутів з використанням сучасного технологічного стеку (ASP.NET Core, React), інтеграцією з геосервісами (Mapbox, HERE Places API) та застосуванням математичних алгоритмів оптимізації (A*, жадібний алгоритм з 2-орт покращенням, розв'язання задачі комівояжера методом Тулашвілі-Турбала). Особлива увага приділяється дослідженню існуючих програмних продуктів, обґрунтуванню технічних рішень, детальному опису методів побудови маршрутів та аналізу їх ефективності на конкретних випадках використання.

Забезпечення зручного користування за рахунок інтуїтивного інтерфейсу, багатомовної підтримки та можливості зворотного зв'язку є важливим чинником у створенні доступного сервісу для різних груп туристів. Розробка подібної платформи є на часі та стане вагомим кроком у напрямку цифрового розвитку туристичної сфери в Україні під час війни і перемоги в ній.

1. ЗНАЧЕННЯ ТУРИЗМУ В СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОМУ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

1.1. Сучасний стан туристичної галузі в Україні

Туристична галузь України переживає складний трансформаційний період, зумовлений як глобальними викликами, так і внутрішніми факторами. Сучасного стану туристичної сфери свідчить про її стратегічну важливість для національної економіки, незважаючи на численні перешкоди для розвитку.

До початку повномасштабної війни у 2022 році туризм в Україні демонстрував стабільне зростання, формуючи близько 3–4% валового внутрішнього продукту. За даними Державної служби розвитку туризму у 2021 році за 7-9 днів перебування в Україні іноземний турист у середньому витрачав 929 \$, що значно перевищує витрати вітчизняних відпочивальників [3]. Проте військові дії, зниження рівня безпеки, руйнування інфраструктури та обмеження мобільності істотно вплинули на діяльність галузі.

Основні характеристики сучасного стану туристичної галузі:

- суттєвий спад в'їзного туризму через безпекові обмеження та воєнний стан;
- трансформація внутрішнього туризму - зміщення туристичних потоків із східних та південних регіонів до західних областей України;
- розвиток локального туризму в безпечних регіонах країни, особливо в західній Україні;
- переорієнтація туристичних підприємств на нові формати діяльності та адаптація до кризових умов;
- зростання ролі цифрових технологій у просуванні туристичних продуктів та послуг.

Незважаючи на виклики, туристична галузь демонструє неабияку гнучкість та здатність до адаптації. Зокрема, активізуються такі види туризму як

культурно-пізнавальний, гастрономічний, зелений та медичний туризм у безпечних регіонах країни.

1.2. Роль туризму в економічному розвитку регіонів

Туризм відіграє ключову роль у соціально-економічному зростанні регіонів України, особливо тих, що не мають значного промислового потенціалу, але володіють багатими природними, історичними та культурними ресурсами. Ця галузь забезпечує економічну активізацію територій, створює додану вартість і сприяє комплексному розвитку інфраструктури. Практично ніхто не сумнівається, що саме туристична сфера буде одним з головних драйверів економічного зростання України у післявоєнний період [2]. Яскравим підтвердженням цього є західні області України. Впродовж останніх п'яти місяців 2023 року до місцевих бюджетів Закарпатської області сплачено 8,1 млн грн туристичного збору. Зокрема, у травні перераховано до місцевих скарбниць 1 млн 941 тис. грн. [3]. Ці цифри підтверджують, що туризм вже сьогодні є важливим джерелом наповнення місцевих бюджетів і одним з чинників фінансової стабільності громад.

Основні економічні ефекти туризму для регіонів:

- ✓ створення нових робочих місць - туристична галузь є трудомісткою і створює значну кількість робочих місць як безпосередньо в туризмі, так і в суміжних галузях;
- ✓ стимулювання підприємництва та малого та середнього бізнесу - туризм сприяє розвитку малого та середнього бізнесу, включаючи заклади розміщення, харчування, сувенірну продукцію, транспортні послуги тощо;
- ✓ залучення інвестицій стимулює інвестування у дорожню, комунальну та рекреаційну інфраструктуру, а також у реставрацію пам'яток та створення нових туристичних об'єктів;
- ✓ зростання надходжень до місцевих бюджетів через туристичні збори та податкові надходження;
- ✓ диверсифікація економіки регіонів і зменшення залежності від традиційних галузей (наприклад, сільського господарства чи видобувної промисловості), відкриваючи нові напрями економічної активності.

Особливо відчутним є вплив туризму в західних областях України — Івано-Франківській, Чернівецькій, Львівській, Закарпатській, де ця галузь стала одним із ключових драйверів місцевого розвитку. Тут туризм не лише приносить економічні вигоди, але й сприяє збереженню культурної спадщини, відродженню ремесел, популяризації народної творчості та посиленню локальної ідентичності.

1.3. Важливість цифрових технологій у туризмі

Цифровізація суттєво трансформує туристичну галузь, відкриваючи нові горизонти для підвищення ефективності, доступності та якості туристичних послуг. Впровадження інноваційних рішень — від онлайн-бронювання до аналізу великих даних — сприяє гнучкому реагуванню на виклики ринку та формуванню персоналізованих продуктів. З передовим застосуванням цифрових технологій туристична індустрія переживає трансформацію якості, ефективності та рушійної сили, і переходить від екстенсивного зростання, зумовленого ресурсами, до нового етапу ефективного зростання, зумовленого технологічними інноваціями [2].

Особливо важливою стала цифрова трансформація в умовах пандемії COVID-19 та воєнного стану, коли дистанційні сервіси стали не лише альтернативою, а й необхідністю. Для українського туризму це означає переосмислення каналів взаємодії з туристами, пошук нових форматів просування та підвищення конкурентоспроможності на глобальному ринку. На наш погляд можна виділити такі основні напрямки цифрового впливу на туризм в умовах сьогодення (табл. 1).

Таблиця 1

Основні напрямки цифрового впливу на туризм в умовах сьогодення *

Напрямок	Характеристика
1	2
Онлайн-платформи та маркетплейси	Розвиток сервісів для бронювання житла, транспорту, екскурсій (наприклад, Booking.com, Airbnb, та українські альтернативи) забезпечує доступ туристів до широкого вибору послуг у зручному форматі
Віртуальні та доповнені подорожі	Віртуальні тури історичними пам'ятками, музеями та природними об'єктами дають змогу мандрувати дистанційно, що стало надзвичайно актуальним для тимчасово окупованих і небезпечних територій
Цифровий маркетинг і соціальні мережі	Сучасні інструменти реклами, таргетування та взаємодії із туристами дозволяють ефективно просувати регіональні дестинації та туристичні бренди

Мобільні застосунки	Додатки з інформацією про туристичні маршрути, об'єкти, місця проживання та харчування полегшують навігацію і підвищують зручність подорожей
Системи управління дестинаціями (DMS)	Такі платформи дозволяють органам влади та бізнесу ефективно управляти туристичними потоками, ресурсами та плануванням розвитку територій
Аналітика big data	Аналіз поведінки туристів, їхніх вподобань, сезонних змін і трендів дозволяє прогнозувати попит, формувати цільові пропозиції та приймати обґрунтовані управлінські рішення

** Сформовано автором*

Прикладами цифрових ініціатив в українському туризмі є:

- реалізація проєкту "Цифрова трансформація регіонів", що передбачає створення цифрових карт, маршрутів і платформ для туристів;
- впровадження QR-кодів на пам'ятках та туристичних об'єктах для отримання миттєвого доступу до історичної інформації та сервісів;
- розробка електронних туристичних путівників та інтерактивних карт для зручного планування маршрутів;
- запуск національних цифрових платформ, що об'єднують туристичні продукти, події та рекомендації з різних регіонів.

Водночас перспективними напрямками є впровадження штучного інтелекту, геоаналітики та доповненої реальності для покращення туристичного досвіду, автоматизації обслуговування клієнтів і створення інноваційних форматів подорожей. Такі технології дозволяють сформувати персоналізовані маршрути, враховуючи інтереси туристів, погодні умови, завантаженість об'єктів та інші чинники.

Дострокове планування відпочинку втратило сенс і люди почали обирати як правило короткотривалі подорожі у безпечні місця, у більш малозаселені території. Фактично бюджетні внутрішні подорожі стали популярними для туристів нашої країни [1]. Цифрові технології відіграють ключову роль у підтримці цієї тенденції, забезпечуючи швидкий доступ до актуальної інформації, онлайн-сервісів бронювання та гнучких варіантів організації подорожей.

1.4. Проблеми та перспективи розвитку туризму в Україні

Попри високий потенціал туристичної галузі, її розвиток в Україні стикається з рядом серйозних викликів, які стримують повноцінну реалізацію ресурсів та зниження залежності від традиційних секторів економіки. Проблеми мають як системний, так і ситуативний характер, посилений війною, економічною нестабільністю та викликами безпеки.

Основні проблеми розвитку туризму:

- Недостатній розвиток інфраструктури. У багатьох регіонах бракує якісних доріг, сучасних закладів розміщення, об'єктів сервісу та логістики.
- Обмежене фінансування. Інвестицій у туристичну інфраструктуру не вистачає, особливо в контексті зниження державних витрат на тлі війни.
- Низький рівень міжнародного маркетингу. Україна недостатньо представлена на глобальному туристичному ринку, що знижує туристичну привабливість у світі.
- Вплив безпекової ситуації. Воєнний стан, обмеження на пересування та руйнування пам'яток і інфраструктури негативно позначаються на туристичних потоках.
- Дефіцит кваліфікованих спеціалістів. У багатьох регіонах бракує фахівців у галузі туризму та гостинності, а система професійної підготовки потребує модернізації.
- Нерівномірність регіонального розвитку. Туризм зосереджений у кількох регіонах (зокрема в Західній Україні), тоді як інші залишаються малозадіяними через брак підтримки та інфраструктури.
- Бюрократичні бар'єри та недосконале управління. Відсутність прозорих процедур і дієвих механізмів координації між органами влади та бізнесом ускладнюють реалізацію проектів.

Попри труднощі, туристична галузь України має вагомі перспективи. Ключові фактори зростання пов'язані з реформами, інтеграцією інновацій, підтримкою малого бізнесу та використанням сучасних цифрових інструментів.

Стратегічні напрями розвитку:

- Оновлення національної стратегії туризму з урахуванням післявоєнних реалій, потреб внутрішнього туризму та нових безпечних маршрутів.
- Удосконалення законодавства у сфері туризму, створення прозорого регуляторного середовища та зниження адміністративного навантаження.
- Формування сприятливого інвестиційного клімату, залучення державного та приватного капіталу до відбудови інфраструктури.
- Впровадження міжнародних стандартів якості, розвиток сертифікації, брендування та підвищення стандартів обслуговування.
- Підтримка пріоритетних напрямів туризму: екологічного, культурного, лікувального, гастрономічного та внутрішнього.
- Розвиток професійної освіти і перекваліфікації кадрів, включаючи дистанційні програми навчання та співпрацю з освітніми установами.
- Цифровізація галузі: розвиток електронних сервісів, використання big data, CRM-систем, віртуальних гідів, мобільних додатків.

Україна має унікальні ресурси для розвитку туризму — від Карпатських гір і Чорного моря до тисяч історичних пам'яток, культурних традицій і гастрономічного різноманіття. Розвиток безпечних туристичних кластерів, підтримка локальних ініціатив, інтеграція з міжнародними туристичними мережами, а також післявоєнне відновлення територій можуть стати потужним імпульсом для оновлення галузі. При належній підтримці держава здатна перетворити туризм на один із ключових драйверів економіки в мирний час.

2. АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

2.1. Існуючі програмні рішення у сфері туристичних рекомендацій

Сфера туристичних рекомендацій активно розвивається завдяки зростанню цифровізації, персоналізації та впровадженню штучного інтелекту. На сьогодні існує низка глобальних і локальних платформ, які реалізують рекомендаційні системи різного типу — від простих фільтрів до складних моделей машинного навчання. У цьому розділі розглянуто найбільш поширені рішення, їх функціональні можливості, алгоритмічну основу та потенціал використання в Україні.

TripAdvisor — одна з найпопулярніших у світі платформ для пошуку готелів, ресторанів, визначних місць і розваг. Система рекомендацій враховує попередні запити, поведінку користувачів, геолокацію та відгуки. Платформа активно працює в Україні, зокрема у великих містах і туристичних центрах. Однак її рекомендації менш релевантні для маловідомих або сільських локацій.

Google Travel – комплексна система, яка надає комплексну інформацію про подорожі, включаючи рейси, готелі, туристичні маршрути та персоналізовані поради на основі поведінкових даних Google-акаунту користувача. Ця система аналізує пошукові запити, історію переміщень, особисті інтереси та попередні подорожі для генерації персоналізованих рекомендацій.

Rome2Rio - спеціалізована платформа для планування маршрутів між будь-якими двома точками світу. Система пропонує всі можливі види транспорту: автобус, поїзд, літак, автомобіль. Сервіс має низьке покриття українських перевізників та маршрутів, особливо в умовах зміни логістики під час війни.

Sygis Travel - додаток для створення персоналізованих маршрутів на основі переваг туриста. Особливістю є можливість роботи в офлайн-режимі, що робить його корисним для регіонів з обмеженим доступом до інтернету. Сервіс може бути ефективним для внутрішніх мандрівок у місцях, де відсутній

стабільний інтернет-зв'язок. Попри зручність інтерфейсу, дані про українські об'єкти часто не оновлюються, що знижує точність і актуальність рекомендацій.

Незважаючи на широкий функціонал і глобальне визнання, більшість популярних туристичних рекомендаційних систем виявляються обмежено ефективними для українського користувача. Можна виділити наступні основні проблеми:

- Низька локалізація контенту. Глобальні платформи часто не мають достатньої інформації про маловідомі українські туристичні об'єкти, місцеві традиції, культурні особливості та сезонні явища. Автоматичний переклад не завжди передає культурні нюанси та специфічну термінологію.

- Недостатня інтеграція з локальними перевізниками, готелями та культурними об'єктами. Багато українських туристичних підприємств, особливо малого бізнесу, не представлені на міжнародних платформах або мають обмежену присутність. Це призводить до неповноти рекомендацій та втрати потенційно цікавих варіантів для туристів.

- Багато міжнародних туристичних платформ пропонують платний функціонал — наприклад, доступ до персоналізованих маршрутів, офлайн-карт чи розширених рекомендацій. Проте значна частина з них не підтримує популярні в Україні платіжні інструменти

Аналіз існуючих програмних рішень підкреслює необхідність розробки або адаптації рекомендаційних систем, спеціально орієнтованих на українські реалії. Такі системи повинні враховувати мовний контекст, змінну інфраструктуру, безпекові аспекти та специфіку внутрішнього туризму.

2.2. Обґрунтування вибору технологій (ASP.net Core Web Api, React)

Під час розробки вебзастосунку було прийнято рішення використовувати ASP.NET Core Web API для створення серверної частини та React для реалізації клієнтського інтерфейсу. Такий технологічний стек був обраний з огляду на кілька ключових факторів.

ASP.NET Core — це високопродуктивна, кросплатформна вебфреймворк від компанії Microsoft, яка дозволяє створювати RESTful API та масштабовані бекенд-сервіси. Основні причини вибору цієї технології наведені на рис. 2.1.

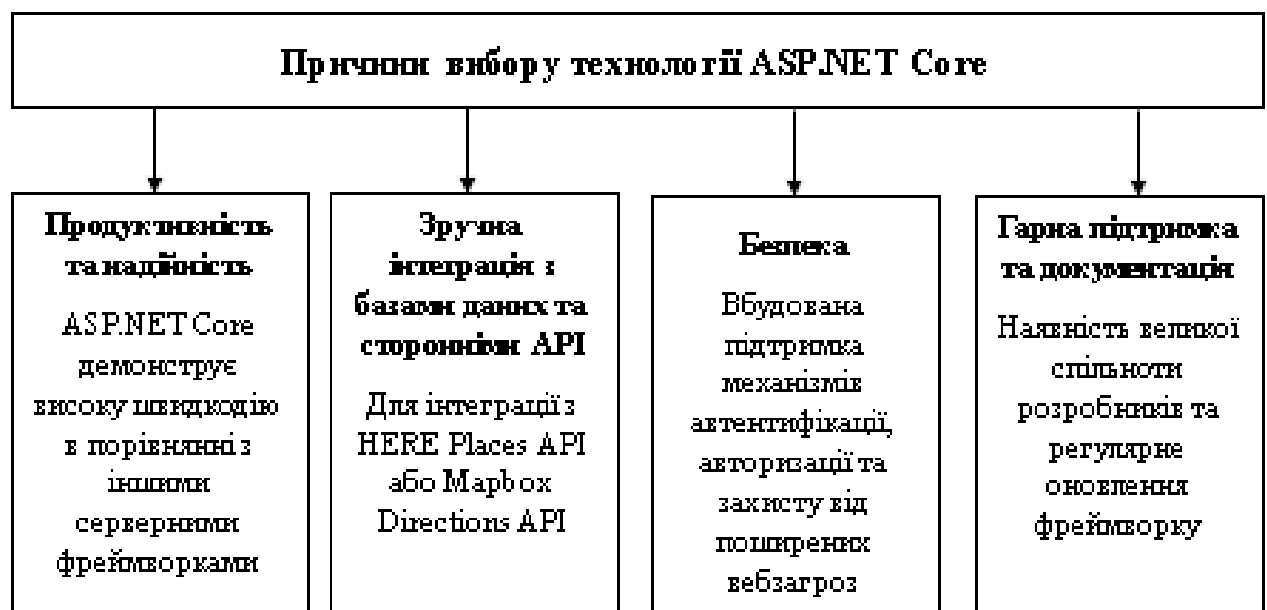


Рис. 2.1. Причини вибору технології ASP.NET Core*

* Сформовано автором

React — це бібліотека JavaScript для побудови користувацьких інтерфейсів, яка була розроблена компанією Meta. Вона обрана як фронтенд-технологія з таких причин (рис. 2.2):

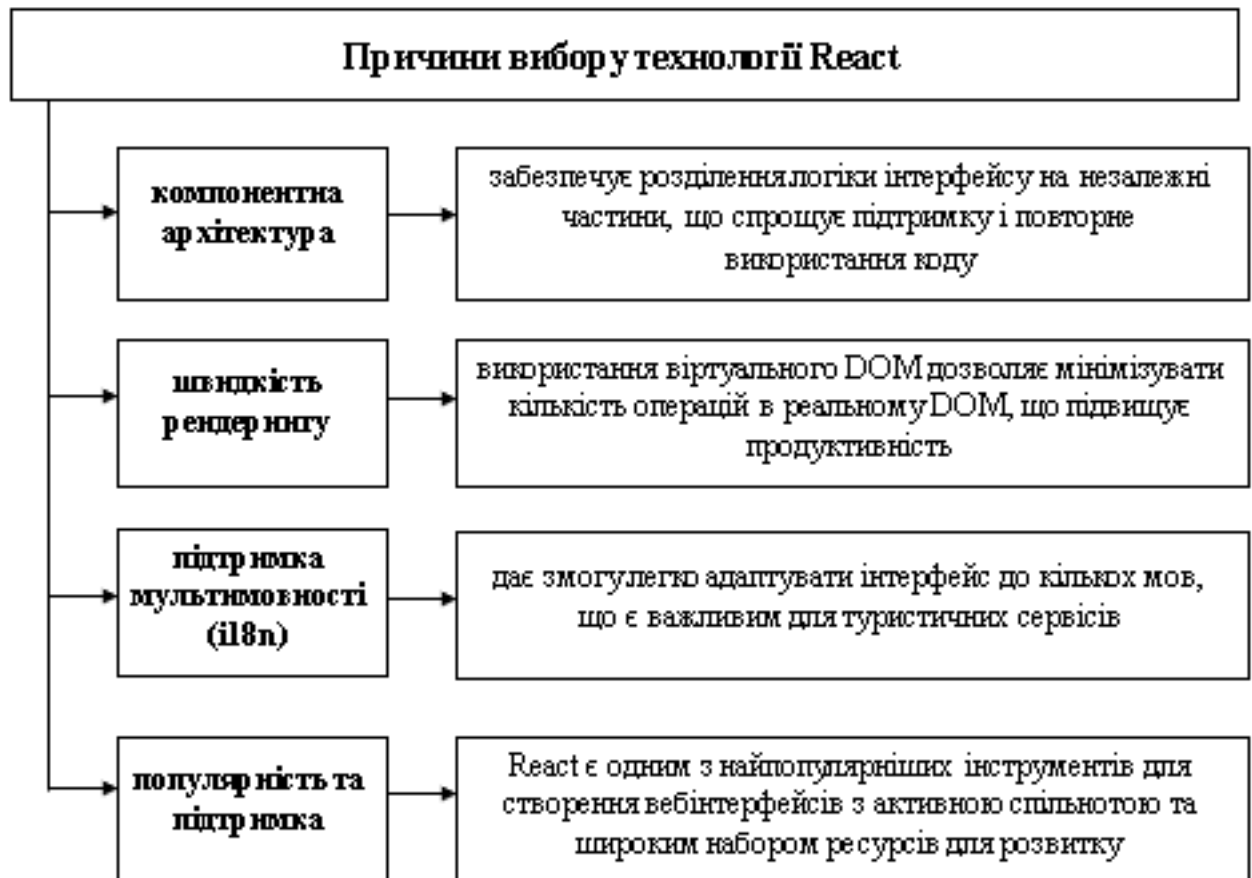


Рис. 2.2. Причини вибору технології React *

** Сформовано автором*

Отже, саме використання технологій ASP.NET Core Web API та React для реалізації клієнтського інтерфейсу є обґрунтованими.

2.3. Постановка задачі маршрутизації з прикладними обмеженнями

Формування ефективного маршруту є однією з ключових задач у багатьох інформаційних системах, що працюють із просторовими даними, зокрема в системах навігації, туристичних додатках, логістиці та службах доставки. Основна мета цієї задачі полягає в знаходженні оптимального шляху, який задовольняє певні критерії — найкоротша відстань, найменший час у дорозі, мінімальна кількість пересадок або зупинок, максимальне охоплення цікавих місць тощо.

Складність проблеми зумовлюється багатьма факторами: розміром доріг, динамічними умовами руху (пробки, обмеження швидкості, ремонти), наявністю множини проміжних точок (наприклад, туристичних локацій), обмеженим часом подорожі, а також необхідністю врахування пріоритетів або вподобань користувача. Залежно від контексту використання, важливо обрати алгоритм, що дозволяє знаходити рішення не лише точні, але й обчислювально ефективні, особливо при обробці запитів у реальному часі.

У межах даної кваліфікаційної роботи задача формування маршруту має чітко визначені обмеження, які суттєво впливають на вибір відповідних алгоритмів. Зокрема, система повинна:

- обирати точки інтересу відповідно до заданих категорій (наприклад, музеї, парки, кафе, АТМ), що передбачає фільтрацію потенційних зупинок за тематичними ознаками;
- формувати маршрут таким чином, щоб включені локації мали найвищий рейтинг серед доступних у межах заданого радіусу;
- мінімізувати загальний час у дорозі, тобто знайти найшвидший можливий маршрут між стартовою та кінцевою точками з урахуванням вибраних зупинок інтересу.

Таке поєднання вимог — категорійна фільтрація, якісна оцінка зупинок та оптимізація часу — ускладнює класичну задачу пошуку найкоротшого шляху. Вона перетворюється на варіант багатокритеріальної оптимізації, де необхідно

знайти баланс між якістю точок інтересу та ефективністю пересування між ними. Зважаючи на це, для реалізації алгоритму формування маршрутів у цій роботі було розглянуто кілька підходів, що дозволяють враховувати зазначені фактори.

2.4. Вибір алгоритмів формування маршрутів

2.4.1. Алгоритм A^* та результати його використання

Одним із перших алгоритмів, що був розглянутий та імплементований у межах цієї кваліфікаційної роботи, став алгоритм A^* (A-star). Це пошуковий алгоритм на графах, який поєднує переваги алгоритму Дейкстри з евристичним підходом, дозволяючи ефективніше знаходити найкоротший шлях до цільової точки. Його головна перевага полягає в тому, що за допомогою евристичної функції (зазвичай — прямої відстані до цілі) він орієнтовано веде пошук у бік кінцевої точки, зменшуючи кількість непотрібних перевірок.

У реалізації було використано A^* для побудови найшвидшого маршруту між стартовою та кінцевою точками з урахуванням обраних точок інтересу. В якості евристики застосовувалась географічна відстань (Haversine) між поточною вершиною та кінцевою ціллю. Проте на практиці даний підхід виявив низку суттєвих недоліків у контексті поставленої задачі:

- Алгоритм ефективно працював лише на простих маршрутах без великої кількості проміжних зупинок (до 3 зупинок). При збільшенні кількості зупинок алгоритм починав формувати неефективні маршрути — з неоптимальним поєднанням зупинок, що суттєво збільшувало загальний час у дорозі (рис. 2.3).

- Він не враховував якість (рейтинг) точок інтересу, оскільки A^* розрахований на мінімізацію відстані або часу, а не на оптимізацію за кількома критеріями.

Рис. 2.3. Генерація маршруту алгоритмом A*

Після аналізу результатів роботи алгоритму A^* , було прийнято рішення перейти до використання жадібного алгоритму у поєднанні з 2-opt оптимізацією. Такий підхід виявився значно більш ефективним для задачі побудови маршруту з обмеженою кількістю точок інтересу, обраних за категоріями та рейтингом, із врахуванням мінімізації часу подорожі.

2.4.2. Комбінований підхід: жадібний алгоритм та оптимізація маршруту за допомогою 2-opt

У межах даної роботи було реалізовано комбінований підхід до побудови маршруту, який складається з двох основних етапів: жадібного вибору точок інтересу та подальшої оптимізації порядку їх відвідування за допомогою 2-opt алгоритму. Така комбінація дозволила досягти балансу між швидкістю побудови маршруту, його логічною послідовністю та якістю обраних зупинок.

Жадібний (greedy) алгоритм застосовується на початковому етапі формування маршруту. Його основна ідея полягає в послідовному виборі наступної зупинки таким чином, щоб локально мінімізувати час у дорозі до наступної точки, при цьому враховуючи фільтрацію за категорією та максимальний рейтинг серед доступних точок інтересу. Алгоритм працює наступним чином:

1. Встановлюється початкова точка маршруту.
2. З множини доступних точок інтересу обирається та, яка:
 - належить до дозволених категорій,
 - має найвищий рейтинг,
 - знаходиться на мінімальній відстані/часі від поточної точки.
3. Обрана точка додається до маршруту, вилучається з множини доступних.
4. Повторюється до досягнення заданої кількості зупинок або вичерпання можливих варіантів.

Такий підхід дозволяє швидко сформувати початковий маршрут, який уже враховує основні критерії, які були визначені раніше.

Щоб покращити отриманий маршрут, після завершення жадібного вибору застосовується 2-opt алгоритм — один із класичних евристичних методів для оптимізації порядку обходу точок у задачах типу Traveling Salesman Problem.

Мета 2-opt полягає в ітеративному обміні пар ребер маршруту: для кожної можливої пари відрізків перевіряється, чи зменшиться загальна довжина (або

час) маршруту, якщо з'єднання між точками буде змінено. Якщо обмін дає кращий результат — він виконується. Процес повторюється до тих пір, поки не буде знайдено локально оптимальний маршрут.

У результаті комбінація жадібного підходу для фільтрації та початкової побудови маршруту разом з 2-орт для оптимізації порядку відвідування показала стабільно якісні результати у тестах. Зокрема:

- час виконання залишався найкращим навіть при значній кількості доступних точок інтересу;
- сформовані маршрути були логічно компактними, без зайвих поворотів, повернень до попередніх точок і петель;
- усі точки задовольняли категорійні та рейтингові обмеження, що підвищувало якість маршруту з точки зору користувача (рис. 2.4).

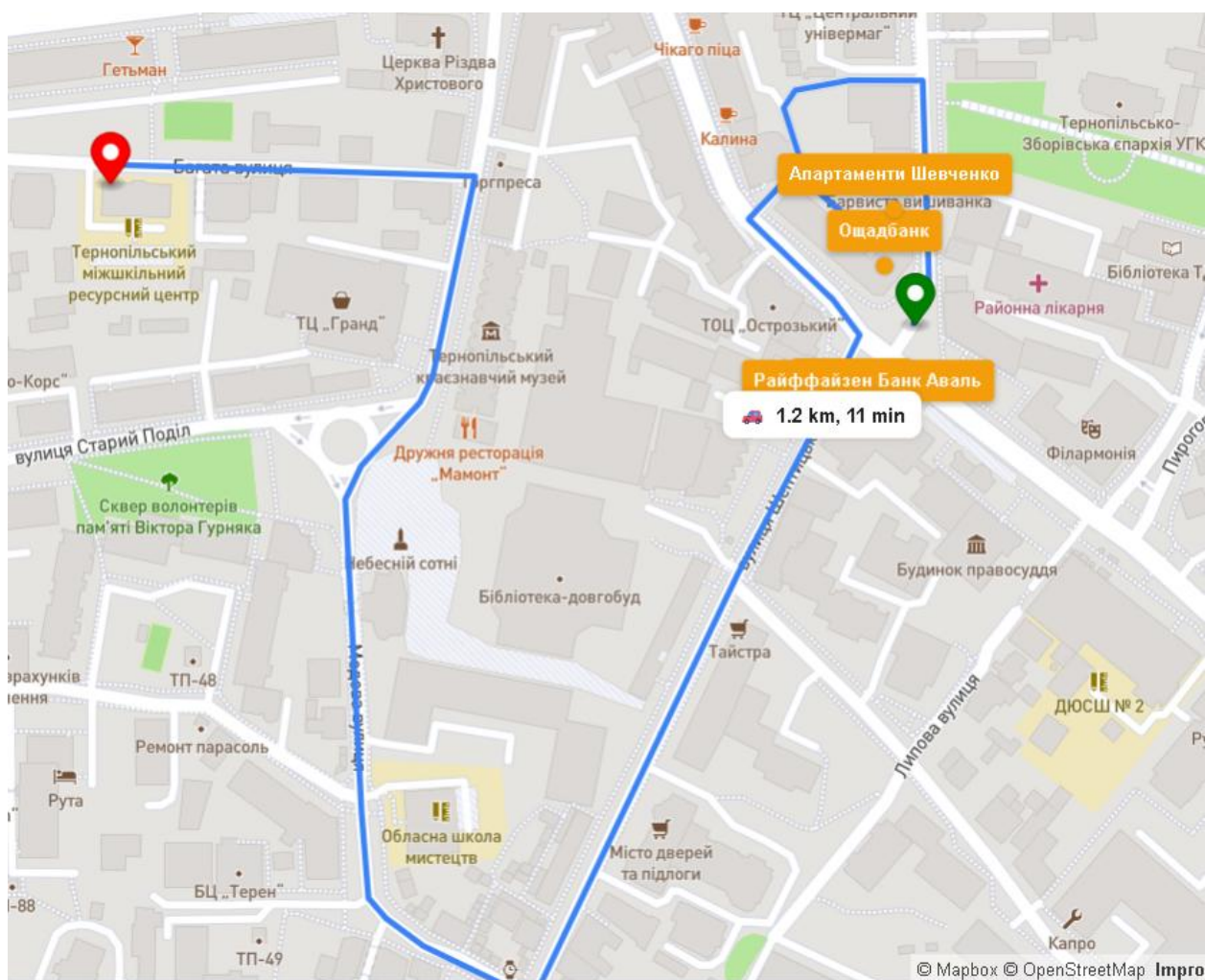


Рис. 2.4. Генерація маршруту жадібним алгоритмом та оптимізація маршруту за допомогою 2-орт

Саме цей підхід було обрано як основний для реалізації у фінальній версії системи маршрутування в межах кваліфікаційної роботи.

2.4.3. Задача оптимального туру та метод її розв'язання Тулашвілі і Турбалом

У процесі дослідження також було імплементовано кастомний алгоритм, запропонований Тулашвілі та Турбалом, який розв'язує задачу оптимального туру на графі з урахуванням туристичної привабливості локацій та витрат часу на переміщення. Алгоритм націлений на знаходження циклу, що починається і закінчується у фіксованій вершині, з максимальною корисністю (атрактивністю) маршруту та мінімальними затратами часу.

Нехай задано неорієнтований граф:

$$G = (V, E) \quad (2.1)$$

де V — множина вершин (туристичних об'єктів);

E — множина ребер, що відповідають шляхам між об'єктами;

$\rho(u, v)$ — функція часу або відстані між вершинами;

$Attr(v), v \in V$ — туристична привабливість вершини v_i .

Задача полягає в знаходженні циклу, для якого:

$$Attr(v) = \gamma Int(v) + (1 - \gamma) Vis(v) \in V \quad (2.2)$$

Умови:

- вершини можуть повторюватися;
- при повторному відвідуванні вершини її привабливість вважається нульовою.

Додаткові обмеження:

- маршрут є циклом:

$$\rho(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) > 0, k = \overline{1, n} \quad (2.3)$$

- всі переходи здійснюються по існуючих ребрах:

$$v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{n-1}}, v_{i_n} \in V \quad (2.4)$$

Оскільки задача є мультикритеріальною (одночасно максимізується привабливість і мінімізується час), її зводять до однокритеріальної за допомогою вагового коефіцієнта $\alpha \in [0, 1]$. Отримуємо функцію:

$$\alpha \sum_{k=1}^{n-1} \tilde{\rho}(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) - (1 - \alpha) \sum_{k=1}^n Attr(v_{i_k}) \chi(i_k \neq i_1, i_k \neq i_2, \dots, i_k \neq i_{k-1}) \rightarrow \min_{[v=v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{n-1}}, v_{i_n}=v]} \quad (2.5)$$

Аналіз граничних випадків:

- при $\alpha = 1$: задача зводиться до пошуку найкоротшого циклу (тривіальний розв'язок - цикл з початкової вершини до найближчої)
- при $\alpha = 0$: необхідно знайти цикл з максимальною сумарною туристичною привабливістю (випадковий цикл, що містить всі вершини з ненульовою привабливістю);
- при $0 < \alpha < 1$: збалансована комбінація критеріїв.

Цільова функція довільного шляху:

$$L(v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_m}) = \alpha \sum_{k=1}^{m-1} \rho(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) - (1 - \alpha) \sum_{k=1}^m Attr(v_{i_k}) \chi(i_k \neq i_1, i_k \neq i_2, \dots, i_k \neq i_{k-1}) \quad (2.6)$$

Принцип роботи алгоритму:

1. Пошук оптимального шляху - для кожної вершини обчислюється оптимальна цільова функція від початкової до цієї вершини, враховуючи привабливість лише при першому відвідуванні.
2. Повернення до початкової точки - для кожної вершини також розраховується шлях повернення, при якому її привабливість вважається нульовою.
3. Формування циклів - для кожної вершини обчислюється повний цикл (вперед + назад) з відповідним значенням критерію.
 - Вибір найкращого циклу - серед усіх таких циклів вибирається той, де значення функції F мінімальне.

У результаті імплементації алгоритм Тулашвілі і Турбала виявився цікавим завдяки багатокритеріальному підходу, що враховує як туристичну привабливість, так і час у дорозі.

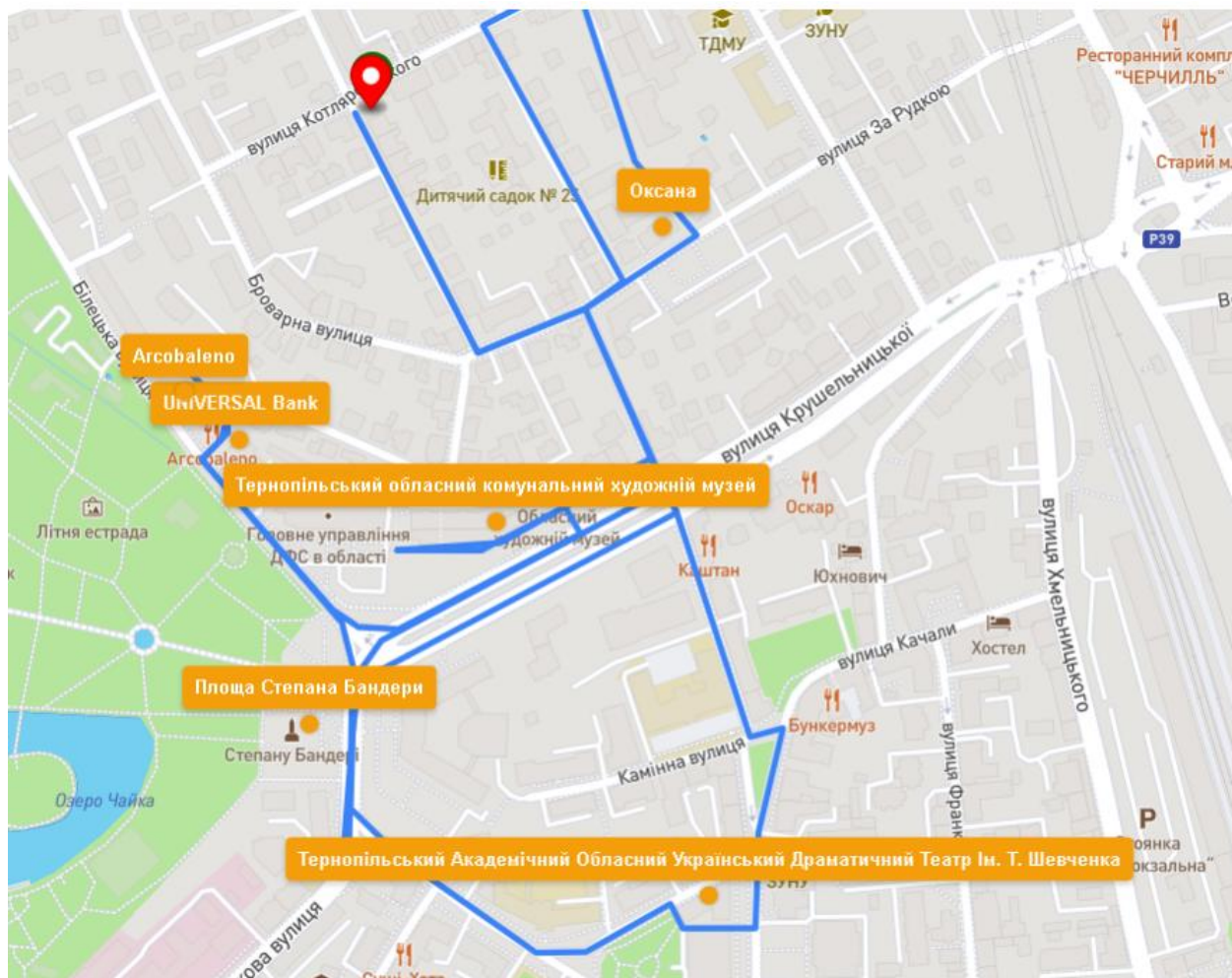


Рис. 2.5. Генерація маршруту алгоритмом Тулашвілі і Турбал

Проте навіть при невеликій кількості точок (від 5) алгоритм демонстрував низьку продуктивність через необхідність повного перебору маршрутів «туди» і «назад» для кожної вершини. Це спричиняло суттєві затримки у виконанні. Крім того, сформовані маршрути не завжди були інтуїтивно зрозумілими — зустрічались нелогічні петлі, що знижувало якість результату з погляду користувача.

2.5. Особливості використання зовнішніх API

У межах реалізації системи маршрутування було інтегровано два зовнішні API — Mapbox Directions API та HERE Places API, кожен із яких відіграє ключову роль у формуванні маршруту та підборі релевантних локацій.

Mapbox Directions API відповідає за побудову оптимального маршруту між заданими точками з урахуванням типу транспорту (пішки, автомобілем тощо). Також Mapbox надає можливість інтерактивної візуалізації маршруту на карті, що дозволяє користувачеві зручно орієнтуватись у просторі. Його картографічна основа підтримується в Україні, що забезпечує точну побудову маршрутів у межах країни, включно з малими населеними пунктами.

HERE Places API застосовується для пошуку точок інтересу поблизу заданих координат. За допомогою параметрів фільтрації (категорія, радіус пошуку, рейтинг) система отримує список релевантних місць — таких як музеї, кафе, парки тощо. API повертає структуровану інформацію про кожен об'єкт, включаючи назву, рейтинг, адресу та координати. HERE також має хороше покриття території України, що дозволяє ефективно знаходити POI навіть у менш популярних регіонах.

Завдяки використанню цих API система маршрутування отримала можливість не лише ефективно будувати маршрути, а й динамічно наповнювати їх контекстом, адаптованим до географії України та вподобань користувача.

3. ПРАКТИЧНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОЄКТУ

Реалізований програмний продукт є веборієнтованою системою, яка складається з двох основних частин: клієнтської (frontend) та серверної (backend). Для коректної роботи системи необхідний одночасний запуск обох компонентів.

- Frontend реалізовано з використанням бібліотеки React.js та фреймворку Ant Design для інтерфейсів користувача.
- Backend розроблений на платформі ASP.NET Core Web API, який забезпечує обробку запитів, логіку маршрутизації та взаємодію з зовнішніми API.

Для використання всієї функціональності програми необхідно:

1. Запустити серверну частину (Web API).
2. Паралельно запустити клієнтську частину (React), яка буде звертатися до відповідного API для отримання та відображення даних.

Після успішного запуску користувач потрапляє на початкову сторінку рис. 3.1, з якої починається взаємодія із системою. Інтерфейс сторінки є мінімалістичним і зрозумілим.

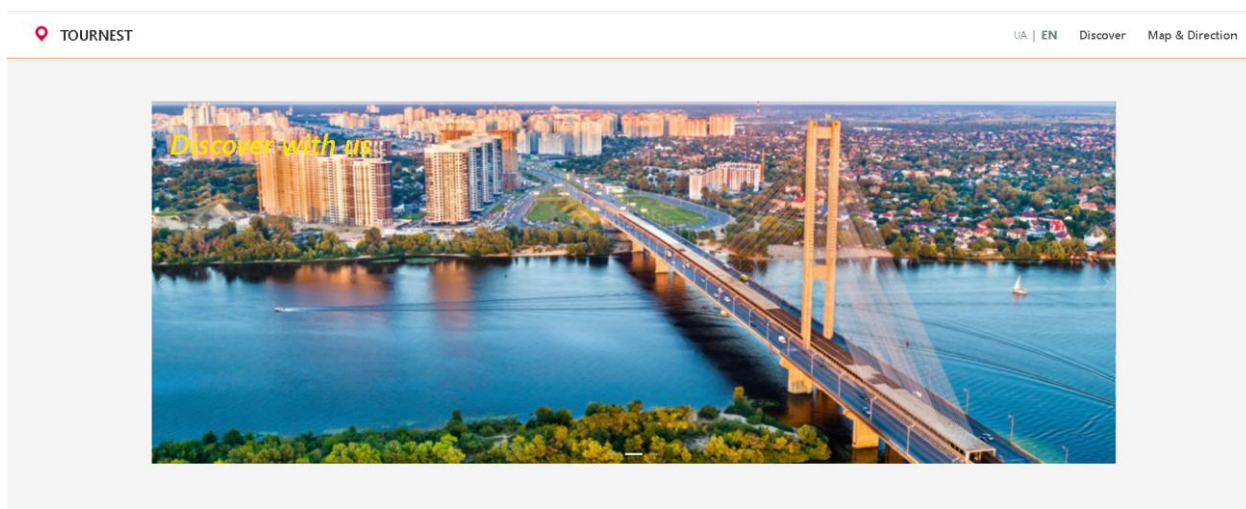


Рис 3.1. Початкова сторінка після запуску системи

Нижче на сторінці розміщена інформаційна секція рис. 3.2, яка покликана зацікавити користувача та ознайомити його з можливостями системи. Тут

коротко описано про можливі місця для побудови маршруту, які може знайти система.

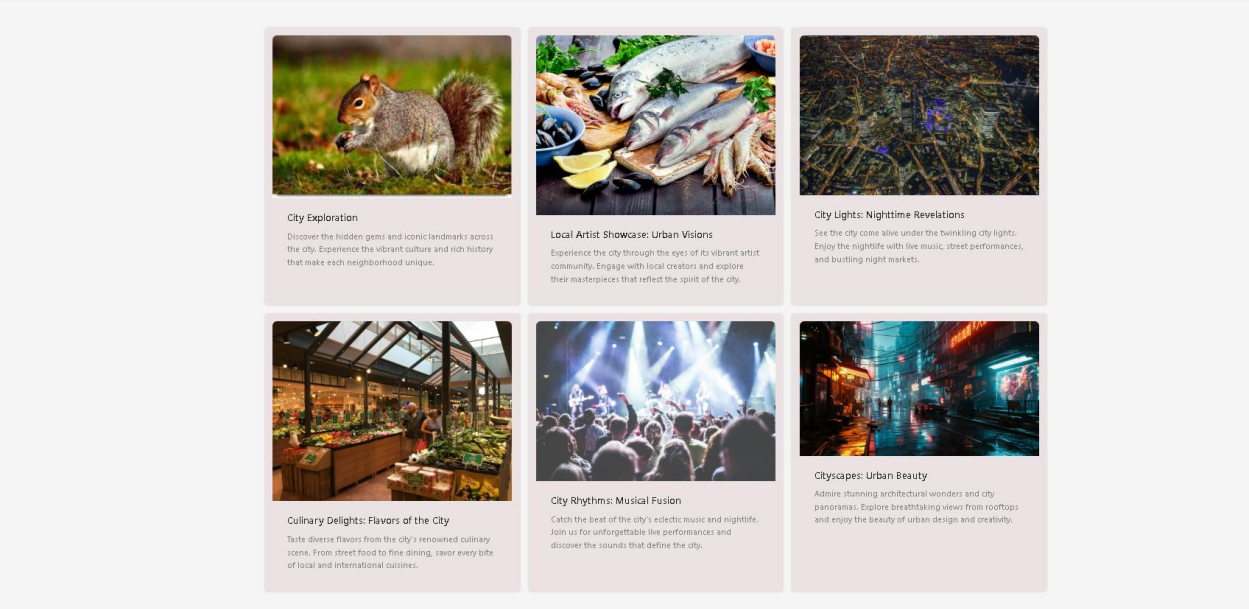


Рис 3.2. Інформаційна секція

У нижній частині сторінки (footer) розміщені Quick Links для зручної навігації по службовим сторінкам, що дає можливість користувачам швидко ознайомитися з додатковою інформацією про систему та її умови. Включені посилання ведуть на сторінки About Us рис. 3.3, Contact Us рис. 3.4 та Privacy and Policy рис. 3.5, де користувач може знайти корисну інформацію про компанію, спосіб зв’язку та політику конфіденційності.

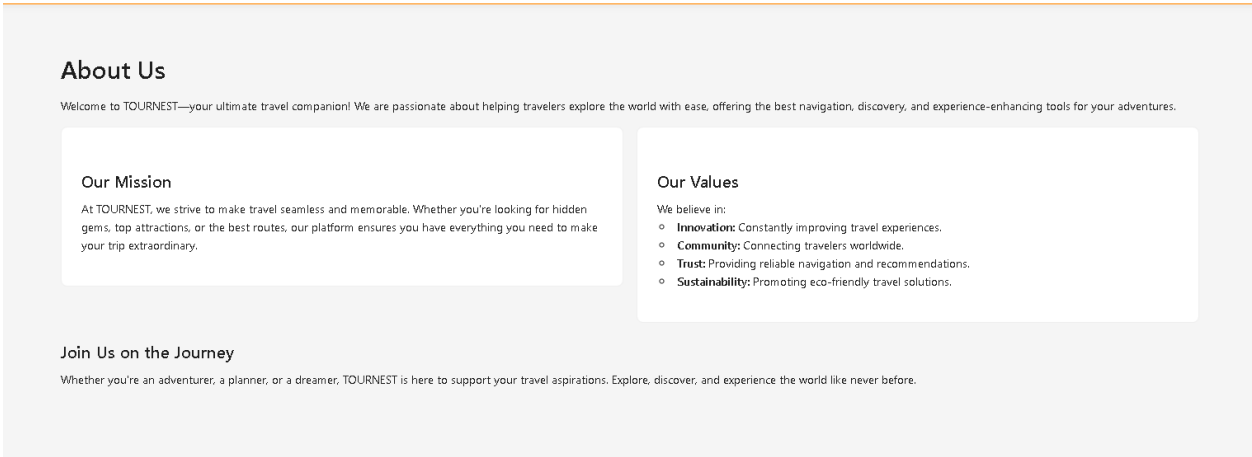


Рис 3.3. Сторінка “About Us”

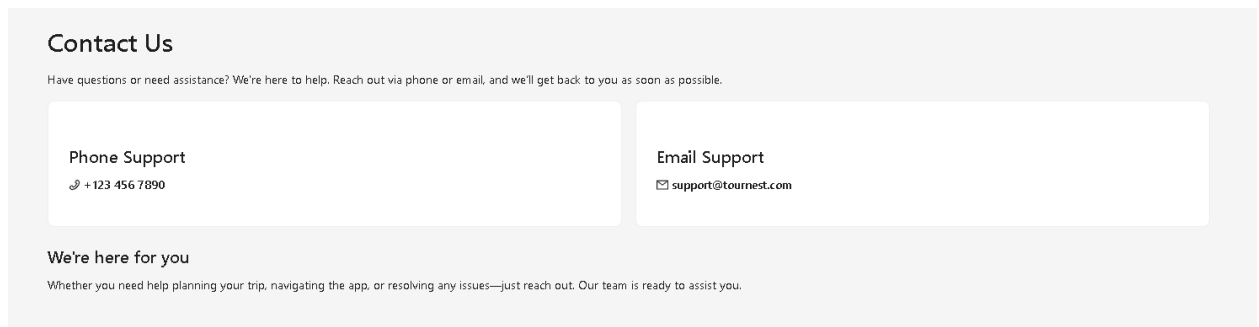


Рис 3.4. Сторінка "Contact Us"

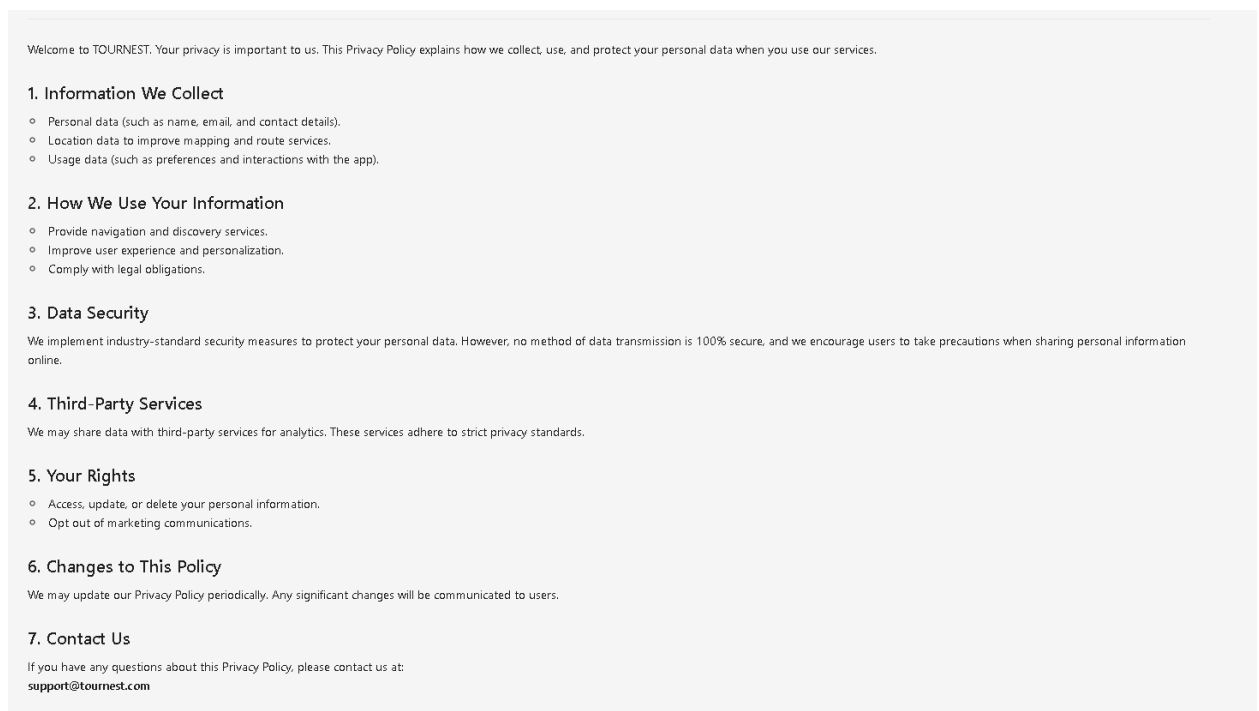


Рис 3.5. Сторінка "Privacy and Policy"

У верхній частині інтерфейсу рис. 3.6 розміщено header, який забезпечує зручну навігацію по основних розділах сайту. Зокрема, користувач може перемикає мову інтерфейсу між українською (uk) та англійською (en), що розширює коло потенційних користувачів системи. Також у header розташовані посилання на сторінку Discover та Map and Direction.

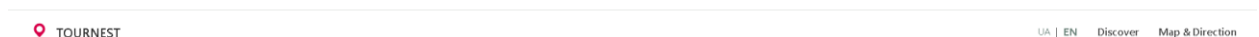


Рис 3.6. Header сайту

Сторінка Discover рис. 3.7 відображає розвиток платформи, містить інформацію про нові функціональні можливості, оновлення інтерфейсу, вдосконалення алгоритмів маршрутизації та майбутні зміни. Тут користувачі можуть ознайомитися з плановими технічними роботами, оновленням API, а також отримати уявлення про напрямок розвитку сервісу. Така прозорість сприяє довірі користувачів та залученню до активного використання системи.

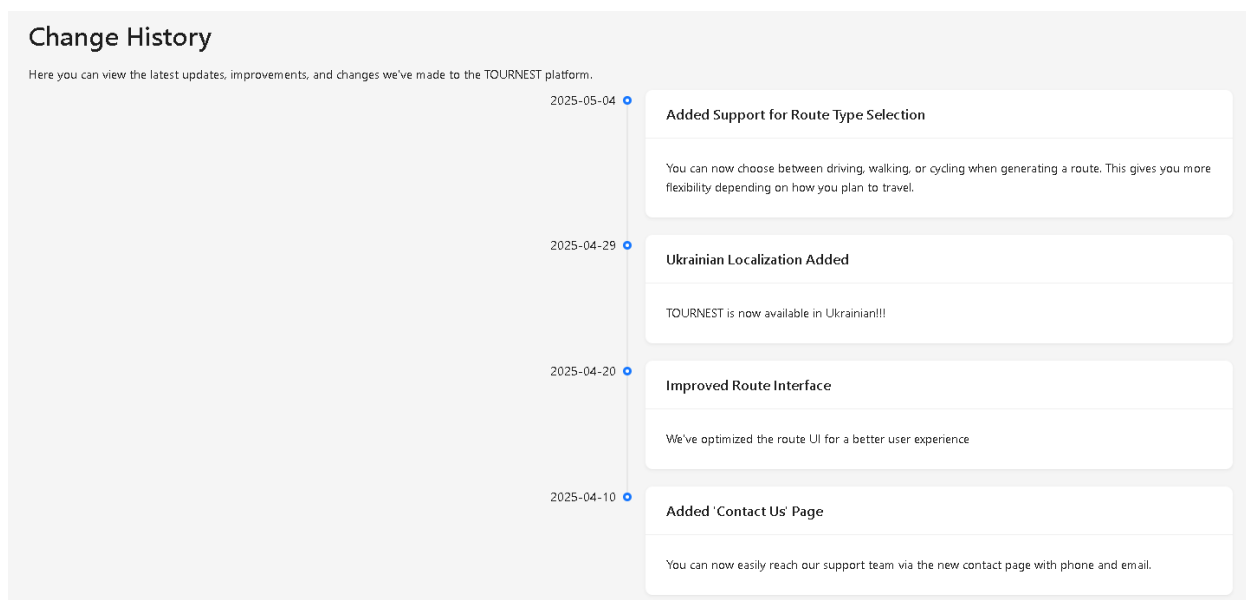


Рис 3.7. Сторінка Discover

Сторінка Discover and Direction рис. 3.8 є центральною складовою платформи, оскільки саме тут реалізується ключовий функціонал — побудова рекомендаційного маршруту від початкової до кінцевої точки. Користувач має змогу вказати власні вподобання, зокрема обрати категорії місць, які його цікавлять (наприклад, АТМ, кафе, готелі, супермаркети тощо), а також тип транспорту — велосипед, автомобіль або пішохід. Після натискання кнопки генерації система формує оптимізований маршрут, який відображається на мапі (рис. 3.9), враховуючи обрані параметри та вподобання користувача. Маршрут включає рекомендації щодо місць, які варто відвідати, з урахуванням категорій і рейтингу, а також надає орієнтовну тривалість проходження та загальну відстань маршруту. Це дозволяє користувачеві ефективно планувати свою подорож відповідно до власних інтересів і доступного часу.

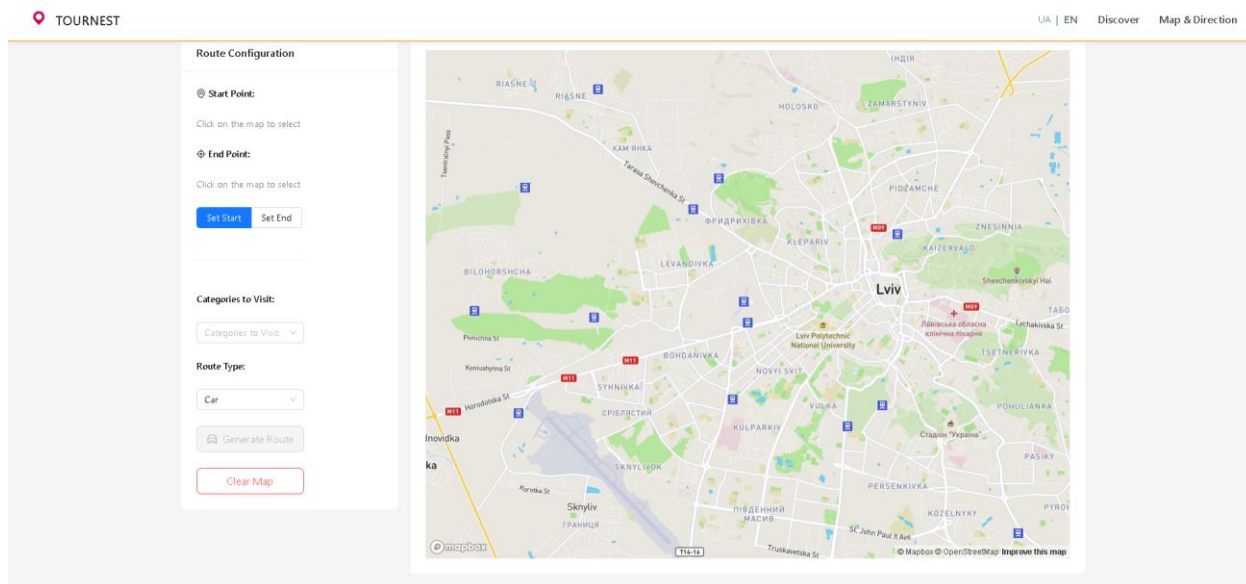


Рис 3.8. Сторінка Map & Direction

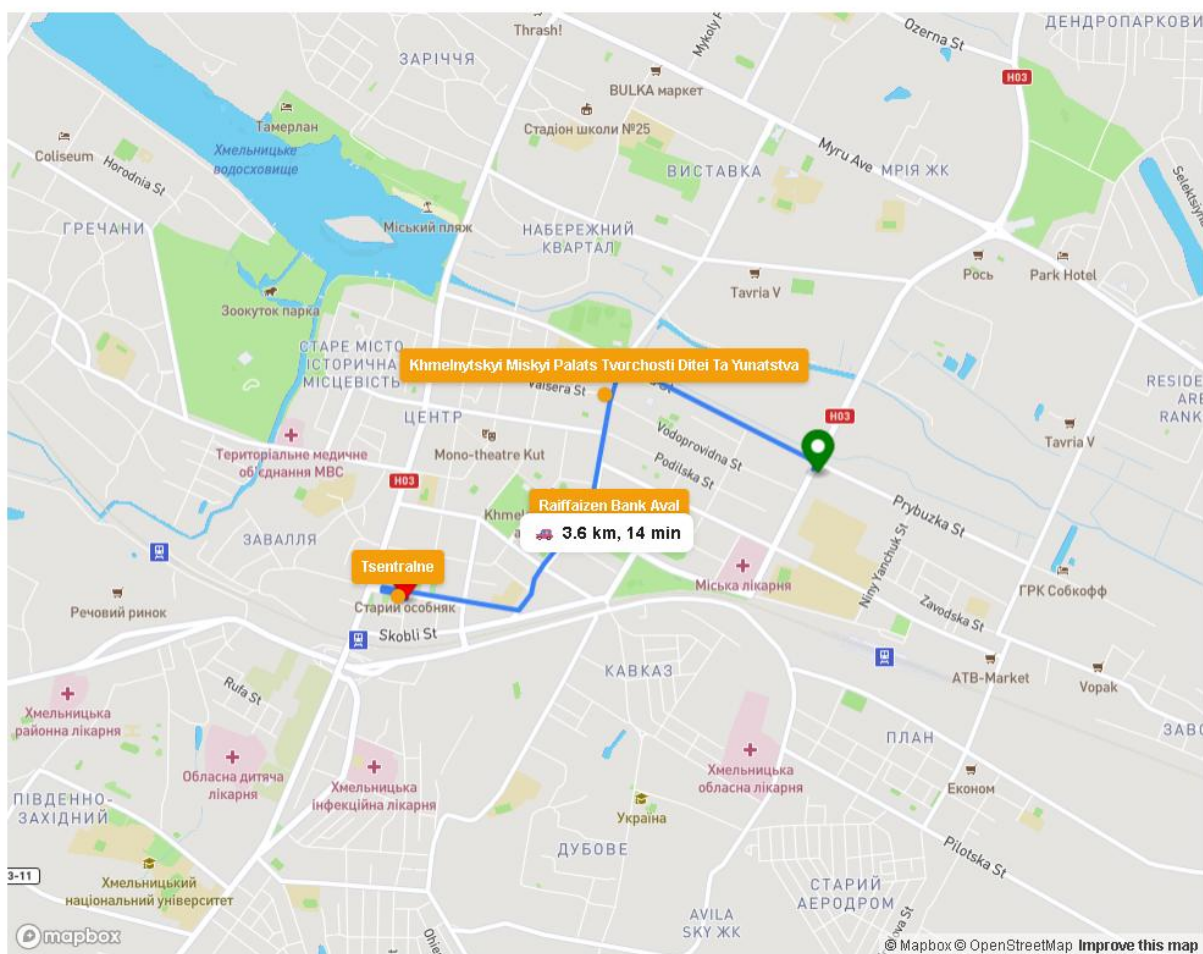


Рис 3.9. Візуалізація згенерованого маршруту на мапі з урахуванням вподобань користувача

ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної роботи було реалізовано веб-застосунок для формування туристичних маршрутів, що враховує індивідуальні вподобання користувача, часові обмеження, категорії об'єктів інтересу та їх рейтинг. Основною метою проєкту стало створення зручного інструменту, який дозволяє швидко та ефективно планувати маршрути мандрівок на основі реальних даних та з використанням сучасних алгоритмів і технологій.

У процесі реалізації були досягнуті наступні результати:

- Проаналізовано сучасний стан туристичної галузі України та окреслено актуальні проблеми, які можуть бути вирішені за допомогою цифрових сервісів.
- Досліджено існуючі підходи до побудови рекомендаційних маршрутів та обґрунтовано вибір технологічного стеку (ASP.NET Core Web API + React).
- Імплементовано кілька підходів до маршрутизації, зокрема:
 - Алгоритм A*, який продемонстрував високу точність, але був надто чутливим до структури графа;
 - Комбінований підхід (жадібний алгоритм із фільтрацією + 2-орт оптимізація), який показав кращий баланс між швидкістю та якістю маршруту;
 - Теоретично цікавий, але малоефективний у виконанні алгоритм Тулашвілі і Турбала.
- Забезпечено інтеграцію з зовнішніми API: HERE для пошуку релевантних точок інтересу та Mapbox для побудови маршрутів і візуалізації на мапі.

На основі тестувань підтверджено ефективність обраного комбінованого підходу, який дозволяє формувати логічно правильні та привабливі маршрути при помірному навантаженні на систему.

У майбутньому розроблена система може бути суттєво вдосконалена за рахунок впровадження таких функціональних та технологічних розширень:

✓ Впровадження машинного навчання, щоб покращити якість рекомендацій. На основі аналізу попередніх маршрутів, рейтингових оцінок та поведінки користувачів можна адаптувати рекомендації під індивідуальні вподобання.

✓ Розробка мобільного застосунку з підтримкою офлайн-режиму — це забезпечить зручне використання маршруту без потреби в інтернет-з'єднанні під час подорожі.

✓ Можливість шерінгу маршруту. Додавання функції спільного доступу до маршруту дозволить користувачам ділитися своїми планами з друзями або родиною через посилання, соціальні мережі або месенджери. Це також спрощує координацію у випадку групових подорожей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Габчак Н., Габчак С. Внутрішній туризм України: тенденції. Проблеми та можливості розвитку у воєнний період. *Економіка та суспільство*. 2023. № 52. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-67> (дата звернення: 24.05.2025).
2. Лисюк Т., Ройко Л., Білецький Ю. Цифрові інноваційні технології у сфері туризму України. *Економіка та суспільство*. 2023. № 52. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2554> (дата звернення: 30.05.2025).
3. Царук В.В. Туризм в Україні в умовах воєнного стану – проблеми відновлення та пошуку нових моделей управління. *Таврійський науковий вісник. Серія: Публічне управління та адміністрування*. 2023. № 4. С. 15-24. URL: <https://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/public/article/view/406/375> (дата звернення: 23.05.2025).
4. An Improvement to the 2-Opt Heuristic Algorithm for Approximation of Optimal TSP Tour URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/12/7339> (дата звернення: 30.03.2025).
5. API Here URL: <https://www.here.com/docs/> (дата звернення: 20.04.2025).
6. API MapBox URL: <https://www.mapbox.com/> (дата звернення: 15.04.2025).
7. Greedy Algorithms General Structure URL: <https://www.geeksforgeeks.org/greedy-algorithms-general-structure-and-applications/> (дата звернення: 04.05.2025).
8. The A* Algorithm: A Complete Guide. URL: <https://www.datacamp.com/tutorial/a-star-algorithm> (дата звернення: 23.03.2025).
9. Tutorial: Create a controller-based web API with ASP.NET Core URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/tutorials/first-web-api?view=aspnetcore-8.0&tabs=visual-studio> (дата звернення: 10.03.2025).

10. What is a Greedy Algorithm? URL:
<https://www.freecodecamp.org/news/greedy-algorithms/> (дата звернення:
03.04.2025).