

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи аналізу даних та штучного інтелекту для інтелектуальної системи «розумного» туризму

Виконав: студент VI курсу, групи СНм-61
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кіндзерський Н.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Палка О. В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Никитюк В. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І. О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 13 » квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Кіндзерському Назару Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи аналізу даних та штучного інтелекту для інтелектуальної системи «розумного» туризму

Керівник роботи Палка Олег Вікторович, доктор філософії, асистент кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » березня 2026 року № 4/9-150

2. Термін подання студентом завершеної роботи 27 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи наукові літературні джерела

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз предметної області та постановка задачі «розумного» туризму. 2. Методи, моделі та архітектура системи. 3. Розробка, реалізація та оцінка ефективності інтелектуальної системи. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Перелік використаних джерел. Висновки. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

АНОТАЦІЯ

Методи аналізу даних та штучного інтелекту для інтелектуальної системи «розумного» туризму // Кваліфікаційна робота освітнього ступеня «Магістр» // Кіндзерський Назар Ігорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНм-61 // Тернопіль, 2026 // С. 112, рис. – 34, табл. – 4, додат. – 4, бібліогр. – 59.

Ключові слова: штучний інтелект, аналіз даних, обробка природної мови, просторова кластеризація, машинне навчання, персоналізація рекомендацій, «розумний» туризм.

Кваліфікаційна робота присвячена застосуванню методів аналізу даних і штучного інтелекту для автоматичного формування персоналізованих туристичних маршрутів.

В першому розділі описано концепцію «розумного» туризму, проаналізовано існуючі програмні рішення та сформульовано вимоги до системи.

В другому розділі досліджено методи просторової кластеризації k-means і DBSCAN для групування локацій та виявлення географічних аномалій, а також методи промпт-інжинірингу для роботи з мовною моделлю.

В третьому розділі описано реалізацію методів у веб-застосунку, проведено тестування та експериментальне дослідження на вибірці з 50 генерацій.

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого планування персоналізованих туристичних маршрутів засобами штучного інтелекту.

Предмет дослідження: методи аналізу даних та машинного навчання для побудови персоналізованих туристичних рекомендацій та оптимізованих маршрутів в інтелектуальній інформаційній системі «розумного» туризму.

ANNOTATION

Data Analysis and Artificial Intelligence Methods for an Intelligent “Smart Tourism” System // The educational level "Master" qualification work // Kindzerskyi Nazar Ihorovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNnm-61 group // Ternopil, 2026 // P. 112, fig. – 34, tables – 4, annexes – 4, ref. – 59.

Key words: artificial intelligence, data analysis, natural language processing, spatial clustering, machine learning, personalized recommendations, smart tourism.

Qualification work is devoted to the application of data analysis and artificial intelligence methods for automatic generation of personalized tourist routes.

The first section describes the concept of "smart" tourism, analyzes existing software solutions and formulates the system requirements.

The second section investigates spatial clustering methods k-means and DBSCAN for grouping locations and detecting geographical anomalies, as well as prompt engineering methods for working with a large language model.

The third section describes the implementation of the methods in a web application, testing and experimental research on a sample of 50 generations.

Object of research: the process of automated planning of personalized tourist routes using artificial intelligence.

Subject of research: data analysis and machine learning methods for building personalized tourist recommendations and optimized routes in an intelligent information system of "smart" tourism.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ШІ – Штучний інтелект

API (англ. Application Programming Interface) – програмний інтерфейс застосунку

DBSCAN (англ. Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) – алгоритм просторової кластеризації на основі щільності

DoS (англ. Denial of Service) – відмова в обслуговуванні

GPS (англ. Global Positioning System) – глобальна система позиціонування

JSON (англ. JavaScript Object Notation) – формат обміну даними

LLM (англ. Large Language Model) – велика мовна модель

MERN (англ. MongoDB, Express, React, Node.js) – технологічний стек веб-розробки

MVC (англ. Model-View-Controller) – архітектурний шаблон модель-представлення-контролер

NLP (англ. Natural Language Processing) – обробка природної мови

NoSQL (англ. Not Only SQL) – нереляційна база даних

OSM (англ. OpenStreetMap) – відкрита картографічна платформа

RAM (англ. Random Access Memory) – оперативна пам'ять

REST (англ. Representational State Transfer) – архітектурний стиль передачі даних

UI (англ. User Interface) – інтерфейс користувача

UX (англ. User Experience) – досвід користувача

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ "РОЗУМНОГО" ТУРИЗМУ	11
1.1 Концепція «розумного» туризму та її інформаційно-технологічні основи	11
1.2 Сучасні інформаційні системи та сервіси у сфері туризму	15
1.3 Застосування технологій штучного інтелекту в туристичних системах	18
1.4 Аналіз існуючих програмних рішень та їх недоліки.....	21
1.5 Формулювання вимог і постановка задачі	26
1.6 Висновки до першого розділу.....	30
2. МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	32
2.1 Загальна архітектура інтелектуальної інформаційної системи для «розумного» туризму.....	32
2.2 Моделі подання та обробки туристичної інформації.....	37
2.3 Методи машинного навчання та рекомендаційні алгоритми	40
2.4 Використання методів обробки природної мови в системі	46
2.5 Вибір програмних засобів і технологій реалізації.....	50
2.6 Висновки до другого розділу	54
3. РОЗРОБКА, РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	56
3.1 Проектування програмної структури та бази даних.....	56
3.2 Реалізація інтелектуальних модулів системи.....	62
3.3 Розробка користувацького інтерфейсу та сценаріїв використання	67
3.4 Тестування та експериментальне дослідження роботи системи.....	80
3.5 Аналіз результатів та оцінка ефективності запропонованого рішення.	84
3.6 Висновки до третього розділу	89

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	91
4.1 Питання щодо охорони праці	91
4.1.1 Охорона праці персоналу туристичної сфери під час організації та супроводу туристичних маршрутів	91
4.1.2 Забезпечення безпечних умов праці в туристичних об'єктах	94
4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях	96
4.2.1 Аналіз небезпечних факторів у туристичній діяльності та методи їх прогнозування	96
4.2.2 Безпека туристів під час подорожей: оцінка ризиків та заходи їх мінімізації	98
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	100
ВИСНОВКИ.....	103
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	106

ВСТУП

В умовах стрімкого розвитку цифрових технологій та концепції «розумного» міста туристична галузь зазнає суттєвих трансформацій. Зростаючі очікування туристів щодо персоналізації послуг, зручності планування подорожей та інтеграції з міською інфраструктурою стимулюють впровадження інтелектуальних інформаційних систем нового покоління. Існуючі туристичні сервіси мають суттєві обмеження: низький рівень адаптивності алгоритмів, недостатню інтеграцію з міською інфраструктурою, обмежені аналітичні можливості та відсутність механізмів боротьби з «галюцинаціями» штучного інтелекту. Тому розроблення інтелектуальної інформаційної системи на основі методів аналізу даних та машинного навчання, яка б забезпечувала персоналізовану підтримку туристів у реальному часі та інтегрувалася з компонентами «розумного» міста та «розумної» мобільності, є актуальним напрямком сучасних наукових досліджень у галузі інформаційних технологій.

Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є підвищення ефективності планування туристичних маршрутів шляхом розроблення інтелектуальної інформаційної системи на основі методів аналізу даних та машинного навчання для «розумного» туризму. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- проаналізувати стан досліджень у галузі «розумного» туризму та існуючі підходи до застосування штучного інтелекту в туристичних системах;
- дослідити існуючі на даний час методи аналізу даних та машинного навчання, придатні для застосування у сфері туризму;
- проаналізувати методи просторової кластеризації та обробки природної мови на основі великих мовних моделей;
- виконати порівняння існуючих програмних рішень у сфері туристичного планування та визначити їхні недоліки;

- розробити архітектуру та програмну реалізацію інтелектуальної інформаційної системи «розумного» туризму
- провести тестування та експериментальне дослідження ефективності розробленої системи.

Об'єкт дослідження – процеси збирання, аналізу та інтелектуального опрацювання туристичних даних в умовах цифрової екосистеми «розумного» міста.

Предмет дослідження – методи аналізу даних та машинного навчання для побудови персоналізованих туристичних рекомендацій та оптимізованих маршрутів в інтелектуальній інформаційній системі «розумного» туризму.

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у тому, що отримав подальший розвиток метод формування персоналізованих туристичних маршрутів на основі гібридного поєднання генеративних великих мовних моделей із детермінованими алгоритмами просторової кластеризації k-means та DBSCAN, що дозволяє ефективно усувати просторові «галюцинації» штучного інтелекту та забезпечувати логістично вивірені рекомендації.

Виконано проектування та програмну реалізацію інтелектуальної інформаційної системи «розумного» туризму у вигляді повнофункціонального веб-застосунку на стеку MERN. Система забезпечує автоматичне формування персоналізованих туристичних маршрутів з урахуванням інтересів, бюджету та тривалості поїздки користувача, а також інтегрується з геоінформаційними сервісами OpenStreetMap та Wikipedia.

Основні результати проведених досліджень обговорювались на IV міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актальні питання» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2026 р.) та на міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Інформаційні технології: теорія і практика».

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ "РОЗУМНОГО" ТУРИЗМУ

1.1 Концепція «розумного» туризму та її інформаційно-технологічні основи

У сучасних реаліях інформаційно-комунікаційних технологій туристична галузь зазнає значних трансформацій. Зростаючі очікування туристів щодо якості обслуговування, персоналізації послуг і зручності подорожей ставлять перед туристичними підприємствами нові виклики та стимулюють впровадження інноваційних рішень.

Одним із сучасних підходів до організації туристичної діяльності є концепція «розумного» туризму, яка передбачає інтеграцію цифрових технологій на всіх етапах туристичного процесу – від планування та бронювання поїздки до взаємодії з туристичною інфраструктурою безпосередньо на місці призначення.

Термін «розумний» туризм використовується для опису технологічних, економічних та соціальних рішень, що ґрунтуються на застосуванні сенсорних технологій, великих та відкритих даних, нових способів підключення й обміну інформацією (зокрема Інтернету речей, RFID та NFC), а також на здатності систем до аналізу, узагальнення та прийняття рішень.

Харрісон та ін. концептуалізують «розумність» як використання оперативних даних реального світу майже в режимі реального часу, інтеграцію та обмін даними, а також застосування складної аналітики та моделювання, для погодження ефективних рішень [1]. Спочатку цей підхід було застосовано до концепції «розумного міста», що описує інноваційне використання технологій з метою оптимізації ресурсів, підвищення ефективності та справедливості управління, забезпечення сталого розвитку й покращення якості життя.

У контексті фізичної інфраструктури (наприклад, «розумний дім» або «розумна фабрика») основна увага приділяється стиранню меж між фізичним та

цифровим середовищами, а також глибокій інтеграції технологій. У поєднанні з цифровими пристроями (смартфонами, смарт-картками, смарт-телевізорами тощо) поняття «розумності» відображає багатофункціональність і високий рівень взаємозв'язку між системами.

Туризм є культурним та економічним явищем, що визначає переміщення людей за межі їхнього звичного середовища з особистими або професійно-діловими цілями [2]. З огляду на високу інформаційну насиченість туризму та його значну залежність від інформаційно-комунікаційних технологій, застосування концепції «розумного» туризму до цієї сфери є логічним та закономірним.

У багатьох аспектах «розумний» туризм можна розглядати як логічний етап розвитку традиційного та електронного туризму. Основи технологічної орієнтації галузі були закладені ще на ранніх етапах завдяки впровадженню глобальних систем розподілу та централізованого бронювання, інтеграції вебтехнологій, що призвело до формування електронного туризму.

Подальший розвиток цієї траєкторії відбувався завдяки активному поширенню соціальних мереж та переходу до мобільного туризму, зумовленого зростанням мобільності туристів і туристичної інформації.

Водночас «розумний» туризм є якісно новим етапом еволюції ІКТ у туризмі, оскільки туристична діяльність інтегрується у цифровий простір. У туристичних системах досягаються нові рівні інтелекту, змінюється структура галузі, а способи створення, обміну, споживання та поширення туристичного досвіду набувають принципово нових форм.

«Розумний» туризм охоплює кілька компонентів і рівнів розвитку, що підтримуються інформаційно-комунікаційними технологіями. Одним із ключових елементів є розумні туристичні напрямки, які розглядаються як окремі випадки розумних міст [3]. Вони застосовують принципи розумного міста до міських і сільських територій, враховуючи потреби як мешканців, так і туристів, з метою

забезпечення мобільності, доступності, ефективного розподілу ресурсів, сталого розвитку та підвищення якості життя й туристичних вражень.

Лопес де Авіла визначає розумний туристичний напрямок як інноваційний туристичний простір, побудований на інфраструктурі сучасних технологій [4], що забезпечує сталий розвиток туристичних територій, є доступним для всіх, сприяє взаємодії відвідувачів з навколишнім середовищем та їх інтеграції в нього, підвищує якість туристичного досвіду та покращує якість життя місцевого населення.

Ключовим аспектом «розумних» туристичних напрямків є інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій у фізичну інфраструктуру, що зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Компоненти та рівні розумного туризму

Окрім включення компонента місця призначення, «розумний» туризм є соціальним явищем, що виникає внаслідок конвергенції інформаційно-комунікаційних технологій із туристичним досвідом.

Компонент розумного туристичного досвіду зосереджується на технологічно опосередкованому досвіді туристів та його покращенні шляхом персоналізації, контекстної усвідомленості та моніторингу в режимі реального часу. Основними

рушійними силами такого досвіду визначаються агрегація інформації, повсюдна зв'язаність і синхронізація даних у режимі реального часу.

Розумний туристичний досвід є ефективним і насиченим за змістом, при цьому туристи виступають активними учасниками його формування. Вони не лише споживають інформацію, але й створюють, коментують або іншим чином збагачують дані, що становлять основу туристичного досвіду. Прикладами такої участі є завантаження фотографій у соціальні мережі з хештегами, пов'язаними з туристичними напрямками, або участь у створенні карт об'єктів інфраструктури в пунктах призначення.

Розумні туристи та їхні цифрові «я» використовують смартфони та інші мобільні пристрої для доступу до інформаційної інфраструктури, що надається безпосередньо в пункті призначення або у віртуальному середовищі, з метою підвищення цінності власного туристичного досвіду.

Третій компонент «розумного» туризму – «розумний бізнес» – стосується складної бізнес-екосистеми, яка забезпечує створення, підтримку та обмін туристичними ресурсами, а також спільне формування туристичного досвіду [5]. Бізнес-компонент «розумного» туризму характеризується динамічно взаємопов'язаними зацікавленими сторонами, цифровізацією ключових бізнес-процесів та високим рівнем організаційної гнучкості.

Важливою особливістю «розумного» бізнесу є активна комунікація між приватним і державним секторами у значно ширшому масштабі, ніж у традиційних моделях. Це зумовлено підвищеною відкритістю органів влади та їх орієнтацією на використання технологій як інструментів надання інфраструктури й відкритих даних.

Крім того, концепція «розумного» туризму визнає, що споживачі також здатні створювати та пропонувати цінність, а також виконувати окремі бізнесові або управлінські ролі. У цьому контексті «розумний» туризм охоплює три рівні функціонування його основних компонентів: рівень «розумної» інформації, орієнтований на збір даних; рівень «розумного» обміну, що забезпечує

взаємозв'язок між учасниками; та рівень «розумної» обробки, відповідальний за аналіз, інтеграцію, візуалізацію та інтелектуальне використання даних.

Виходячи з наведених положень, «розумний» туризм можна визначити як форму туристичної діяльності, що підтримується інтегрованими зусиллями в пункті призначення щодо збору, агрегації та використання даних, отриманих із фізичної інфраструктури, соціальних взаємодій, урядових та організаційних джерел, а також від самих туристів. У поєднанні з використанням передових цифрових технологій ці дані трансформуються у туристичні враження та пропозиції бізнес-цінності з акцентом на ефективність, сталий розвиток і збагачення туристичного досвіду.

1.2 Сучасні інформаційні системи та сервіси у сфері туризму

Автоматизація туристичного бізнесу тісно пов'язана із системою збору, обробки та аналізу зовнішньої інформації. Ці процеси є складними та охоплюють усі аспекти діяльності туристичної компанії. Системи збору зовнішньої бізнес-інформації надають менеджерам дані про функціонування ринку туристичної галузі.

Туристичні компанії з достатньо високим рівнем організації вживають додаткових заходів для підвищення актуальності зовнішньої бізнес-інформації (різних рейтингів, статистики, інформації про туристичну ситуацію) шляхом заохочення туристичних агентів та бізнес-партнерів.

Оскільки середовище дійсно є мінливим та хаотичним, необхідно забезпечити адаптивність туристичного підприємства для його ефективного функціонування. Висока надійність та забезпечення адаптивності є одними з фундаментальних принципів стабільного функціонування туристичних підприємств. Для цього необхідно розробляти та впроваджувати складні інформаційні системи, які концентрують у собі сукупність організаційних,

безпекових, технічних та інших можливостей, спрямованих на досягнення достатнього рівня безпеки та ефективності бізнесу.

Розвиток туристичного бізнесу неможливо уявити без використання сучасних технологій, які забезпечують [6]:

- інтеграцію та комунікацію;
- покращення якості обслуговування;
- передачу великих обсягів інформації;
- підвищення швидкості обслуговування та ефективності бізнес-діяльності;
- можливість враховувати індивідуальні потреби кожного клієнта;
- ефективний зворотний зв'язок.

Інформаційні технології являють собою узагальнення наукових знань, даних та практичного досвіду, що дає змогу раціонально організувати певний бізнес-процес. Вони дозволяють економити трудові, енергетичні чи матеріальні ресурси, необхідні для здійснення цього процесу. Економію часу, що досягається завдяки використанню будь-якого типу технологій, можна розглядати як загальний критерій ефективності. Необхідність економії часу в першу чергу спрямована на технології, пов'язані з наймасовішими інформаційними процесами. Їх оптимізація має заощадити найбільше часу завдяки їх широкому та багаторазовому використанню. Мережеві інформаційні технології є невід'ємною частиною сучасного інформаційного суспільства.

Туристичний бізнес також використовує інтернет-технології для свого зростання та розвитку. За останні роки в мережі Інтернет з'явилися сотні та тисячі незалежних сайтів туристичних агентств, готелів, авіакомпаній та велика кількість систем бронювання туристичних послуг [7]. Внутрішній та міжнародний туризм – це потужна галузь торгових послуг. Туристична галузь базується на: туроператорах та туристичних агентах; готельному бізнесі; транспортних компаніях; підприємствах з виробництва та продажу туристичних товарів; рекламі, інформаційній підтримці, навчанні персоналу, а також органах

управління. Також на туризм працюють інші галузі, для яких туристичні послуги не є основним видом діяльності (культура, торгівля тощо).

Одним із показників оцінки конкурентоспроможності країни в галузі туризму є «готовність до інформаційно-комунікаційних технологій» (ІКТ). Це означає швидке зростання, залучення великої кількості підприємств та організацій, а також переосмислення своєї концепції «надання послуг» для перетворення постійного спілкування на досвід. Однією зі складових такої готовності є впровадження комп'ютерних систем бронювання на туристичних підприємствах.

Першим кроком у розвитку комп'ютерних систем бронювання стало встановлення спеціалізованих терміналів у більшості офісів авіакомпаній, що дозволило значною мірою підвищити якість роботи персоналу без зменшення кількості заявок на бронювання, які надходили від туристичних агентів та приватних осіб [8]. Наступним етапом стало створення терміналів бронювання авіаквитків у великих туристичних агентствах, що забезпечило швидший доступ до актуальної інформації та підвищило ефективність обслуговування клієнтів.

Швидко оцінивши ефективність нових технологій бронювання, туристичні агенти почали вимагати від авіакомпаній значного розширення функціональних можливостей таких систем. У результаті програмні продукти, які спочатку були орієнтовані на обслуговування окремих авіакомпаній, були інтегровані в єдині системи, що об'єднували групи авіаперевізників. Такі системи надавали інформацію не тільки про наявність місць на рейсах, але й про деталі перельотів, тарифи, а також про суміжні туристичні послуги. До них належали онлайн-бронювання авіа- та залізничних квитків, готельних номерів, послуг прокату автомобілів, таксі та трансферів.

Впровадження інформаційних технологій у туристичну галузь відбувалося поступово та охоплювало кілька етапів [9]:

- Створення та обробка даних – підвищення ефективності операційної діяльності туристичних підприємств шляхом автоматизації процесів на основі використання інформації.
- Впровадження систем управління інформацією – використання інформаційних технологій, спрямованих на підвищення якості управління через вдосконалення організації процесів передачі інформації.
- Застосування стратегічних інформаційних систем – використання ІТ-рішень, здатних підвищити конкурентоспроможність туристичних підприємств та забезпечити ефективні зв'язки з зовнішніми організаціями шляхом впровадження інтегрованих мереж.
- Етап мережевого об'єднання – інтеграція мереж на всіх рівнях. Основними характеристиками цього етапу є зростання ефективності інформаційних технологій, зменшення габаритів і вартості обладнання, підвищення надійності систем та забезпечення взаємозв'язку терміналів, розташованих у різних частинах світу.

Використання сучасних інформаційних систем, зокрема комп'ютерних систем бронювання та глобальних дистрибутивних систем, у діяльності туристичних підприємств є одним із ключових елементів забезпечення їх інтегративної взаємодії. Це сприяє сталому розвитку підприємств, дозволяє максимально ефективно використовувати доступні ресурси та забезпечує взаємодію з усіма учасниками туристичного ринку через взаємопов'язані канали збуту.

1.3 Застосування технологій штучного інтелекту в туристичних системах

З настанням ери інформаційних технологій штучний інтелект швидко розвивався та широко використовується в усіх сферах життя, тим самим сприяючи інноваціям та змінам, а також промисловому розвитку.

Інтеграція роботів, штучного інтелекту та автоматизації послуг у сфері гостинності та туризму була використана для покращення враження клієнтів, підвищення якості послуг та оптимізації операцій [10]. Дослідження підкреслили вплив ШІ на різні аспекти галузі, такі як обслуговування клієнтів, прийняття рішень та відновлення послуг.

Мережа готелів Hilton запустила онлайн-консьєржа, Facebook аналізує дані, щоб пропонувати користувачам варіанти проживання через контекстну рекламу, а Booking.com представив сервіс бронювання Experience, який допомагає туристам організувати дозвілля та купувати квитки за допомогою ШІ без черг у популярних світових столицях за допомогою zR-коду.

Примітно, що в аеропортах роботи все частіше використовуються як гідів та помічників. Альтернативний метод впровадження технологій на базі ШІ в індустрію гостинності передбачає використання віртуальних агентів та чат-ботів. Ці сутності використовують розпізнавання мовлення, щоб допомогти гостям замовити обслуговування номерів, пропонувати онлайн-допомогу з інформацією, та безперебійно працювати цілодобово, сім днів на тиждень.

Чат-боти мають потенціал значно покращити послуги в туристичній галузі, надаючи швидко та персоналізовану допомогу мандрівникам [11]. Ці віртуальні помічники можуть взаємодіяти з клієнтами цілодобово, швидко та ефективно відповідаючи на їхні запитання, що підвищує задоволеність клієнтів. Чат-боти можуть надавати найактуальнішу інформацію про туристичні напрямки, варіанти проживання, авіакомпанії та пам'ятки, допомагаючи відвідувачам приймати розумні рішення та легко організувати свої подорожі. Вони можуть надавати персоналізовані пропозиції, рекомендуючи відповідні враження та заходи на основі індивідуальних інтересів, оцінюючи вподобання та поведінку користувачів. Чат-боти також можуть легко обробляти процес бронювання, здійснювати бронювання та керувати коригуванням маршруту. Їхні багатомовні навички допомагають їм спілкуватися з відвідувачами з інших країн, усуваючи будь-які мовні перешкоди та забезпечуючи ефективні зустрічі. Загалом, використання чат-

ботів покращує обслуговування клієнтів, економить час, знижує операційні витрати та робить подорожі менш стресовими та приємнішими.

Крім того, все вказує на те, що штучний інтелект відіграє ключову роль у різних послугах, з потенційними ексклюзивними застосуваннями в майбутньому, включаючи реєстрацію, виїзд, завдання на рецепції, послуги харчування, процедури розміщення, послуги паркування автомобілів, спілкування через чат-ботів або чат-блоги для прямої взаємодії з клієнтами, а також надання послуг з обслуговування номерів безпосередньо через мобільні пристрої.

Поширене застосування ШІ в туризмі включає використання віртуальної реальності для створення унікального досвіду та захопливих вражень від подорожей за допомогою технології відео на 360 градусів [12]. Технологія, має можливість відтворювати різні аспекти подорожі, починаючи від самої подорожі до місця призначення, демонструючи ключові пам'ятки. Крім того, ШІ використовується для ілюстрації туристичних місць та розташування готелів за допомогою 3D-відео.

Ця технологія ідеально підходить для попереднього перегляду незнайомих місць. Віртуальний інтерфейс бронювання дозволяє клієнтам пройтися літаком у режимі реального часу, змодельовано, що полегшує вибір місць. Крім того, клієнти можуть вибрати додаткові послуги, такі як послуги таксі, та завершити процес оплати.

Використання додатків віртуальної та доповненої реальності забезпечує змодельоване зображення автентичного досвіду, посилюючи як візуальну, так і емоційну взаємодію. Це підвищує рівень взаємодії.

Штучний інтелект відкриває широкі можливості як інструмент для просування та пропозицій у сфері подорожей та туризму, значно покращуючи враження відвідувачів від подорожей та ефективніше рекламуючи місця. Системи рекомендацій на основі ШІ можуть надавати індивідуальні пропозиції щодо подорожей, які враховують інтереси, бюджет та попередню поведінку кожної людини, оцінюючи великі обсяги даних, включаючи індивідуальні вподобання

користувачів, попередні звички подорожей та відгуки [13]. Ці пропозиції можуть включати місця для проживання, місця для огляду, місця для харчування та заходи, покращуючи відпустку враженнями, що відповідають смакам мандрівника. ШІ також може покращити маркетингові ініціативи, виявляючи можливі цільові ринки та відповідно налаштовуючи маркетингові стратегії. ШІ здатний виявляти закономірності, оцінювати попит і навіть пікові сезони подорожей за допомогою аналітики, заснованої на даних, що дозволяє туристичній галузі розумно розподіляти ресурси та максимально ефективно використовувати свої рекламні зусилля.

У туристичній галузі існують різні типи застосувань ШІ, включаючи пошукові/бронювальні системи, прогнозування попиту на туризм, віртуальні агенти/чат-боти, роботи та автономні транспортні засоби, автоматизацію послуг, кіоски/екрани самообслуговування, пристрої доповненої реальності та пристрої віртуальної реальності. Використання моделей ШІ для прогнозування туризму привернуло значну увагу в останні роки, а чат-боти або розмовні асистенти використовуються в процедурах бронювання. Однак, щоб повною мірою використати потенціал ШІ для розробки ефективного, індивідуалізованого та сталого досвіду подорожей у майбутньому, важливо ретельно враховувати етичні та робочі наслідки.

1.4 Аналіз існуючих програмних рішень та їх недоліки

Одним із технологічних підходів, зосереджених на «розумному» туризмі, є рекомендаційні системи [14]. Рекомендаційні системи – це програмні інструменти та методи, які надають користувачеві відповідні пропозиції, допомагаючи вирішити проблему інформаційного перевантаження. Вони фільтрують інформацію, продукти, послуги, людей з набору тисяч варіантів на основі інтересів, смаків та потреб користувачів. У системах рекомендацій подорожей існує багато застосувань рекомендаційних систем, більшість з яких вивчають

уподобання користувача, щоб рекомендувати місця та визначні пам'ятки відповідно до його інтересів.

Застосування традиційних методів рекомендацій, таких як контентна та колаборативна фільтрація, стає складнішим у цій галузі. Складність зумовлена різноманітністю уподобань, різноманітністю туристичних послуг та особливо кількістю та різноманітністю профілів для рекомендації в групі людей. Методи прогнозування, які використовують матрицю рейтингів як вхідні дані, нелегко застосовувати в туристичній сфері.

Контекст на момент запиту рекомендації значно впливає на рішення, які приймають туристи [15]. Наприклад, планування відпустки передбачає поєднання кількох взаємопов'язаних послуг, таких як готелі, транспорт, ресторани, туристичні та історичні пам'ятки та інші види діяльності. Окрім компанії інших людей, профілі та смаки цих людей, клімат та наявні гроші – це ще одні фактори, що впливають на рішення людей під час планування поїздки.

У сфері туризму рекомендаційні системи застосовуються для рекомендацій визначних місць, туристичних пакетів, розміщення та інших.

Щодо отримання користувацьких уподобань, користувач туристичної послуги має певні відмінні характеристики клієнтів інтернет-книгарні або інтернет-музичного магазину. Існує велика різноманітність змінних, таких як кількість туристів, їх вік, уподобання щодо клімату та пори року, наявність економічних ресурсів тощо. Ці змінні є обмеженнями, які слід враховувати під час прогнозування рекомендацій.

Для отримання цієї інформації користувач безпосередньо вводить свої смаки, уподобання та потреби явно, або через вхід до системи, або через поля, де він вводить свої потреби та уподобання. Такий спосіб отримання інформації є нав'язливим для користувача. Часто користувачі не хочуть вводити певну інформацію в системи.

Інші системи отримують інформацію від користувачів менш нав'язливим способом, наприклад, шляхом моніторингу поведінки користувачів, аналізу історії

покупок та бронювань, аналізу думок, написаних у текстовому форматі, або через розмовну систему.

Розглянемо систему «Visit a City», яка розроблена для полегшення процесу планування та організації туристичних поїздок у міській місцевості. Основною метою системи є надання користувачам персоналізованих рекомендацій щодо туристичних об'єктів, маршрутів, закладів харчування та культурних подій на основі уподобань. Система інтегрує дані з різних джерел, включаючи відкриті бази даних туристичних об'єктів, картографічні сервіси та інформацію про події, що дозволяє створювати комплексні та актуальні маршрути для користувача [16]. На рисунку 1.2 зображено інтерфейс системи «Visit a City».

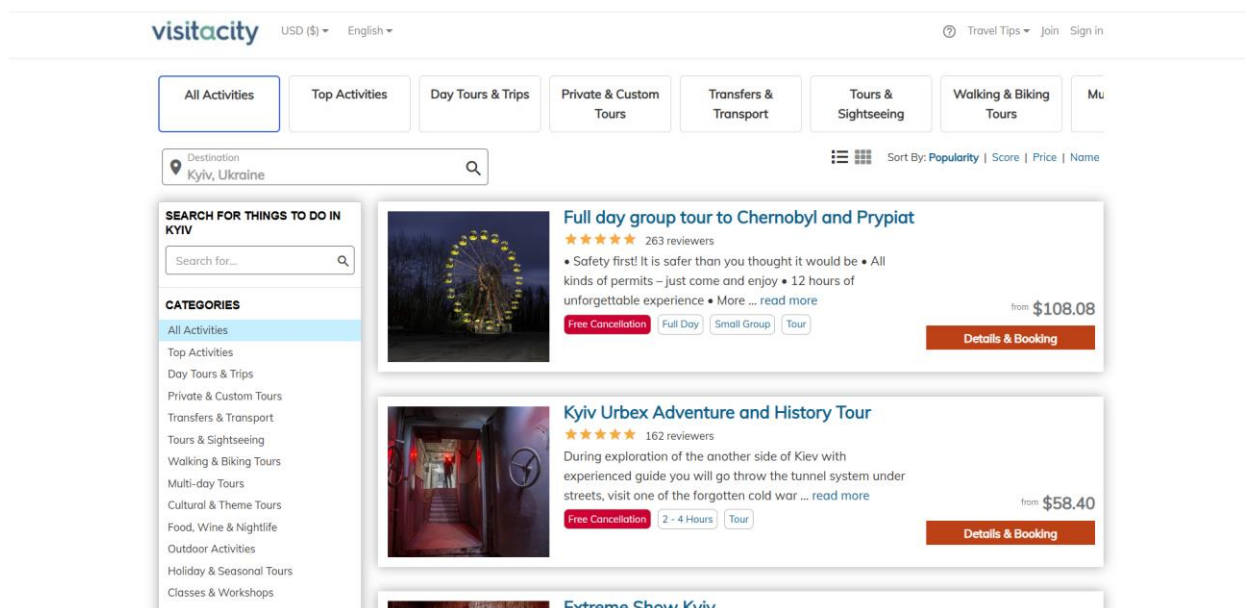


Рисунок 1.2 – Інтерфейс програми «Visit a City»

Інтерфейс сервісу «Visit A City» побудований за класичною схемою маркетплейса послуг. У верхній частині розміщено панель навігації та горизонтальний рядок швидких фільтрів за типом активностей. Ліва сторона виділена під пошукову систему та розширений перелік категорій. Центр сторінки займає вертикальна стрічка карток з пропозиціями, де кожна позиція містить візуальне прев'ю, короткі характеристики та кнопку для переходу до бронювання.

Проте система має ряд суттєвих обмежень. Основною проблемою є застарілість даних: інформація про години роботи закладів, наявність подій, туристичні маршрути та актуальні ціни не завжди оновлюється в реальному часі, що може призводити до некоректних рекомендацій. Наприклад, турист може отримати маршрут до музею, який у зазначений день зачинений, або до ресторану з неповною інформацією про меню чи ціни.

Алгоритми системи недостатньо персоналізовані. Вони переважно враховують загальні популярні маршрути та визначні місця, але не аналізують комплексно інтереси користувачів, такі як кількість туристів, їхній вік, фізичні можливості, індивідуальні вподобання чи бюджет. Крім того, хоча система пропонує різні тури, вона не складає повний план на весь день, що залишає користувачу необхідність самостійно комбінувати маршрути, враховувати час на пересування між об'єктами та організувати відпочинок. Це значно ускладнює планування повного маршруту по місту, особливо для тих, хто подорожує вперше.

Інтерфейс системи часто перевантажений елементами: велика кількість кнопок, спливаючих вікон і вкладок ускладнює швидку навігацію та вибір маршруту. Для нових користувачів це може створювати плутанину та додатковий стрес під час планування поїздки.

Крім того, у системі обмежені можливості соціальної взаємодії: немає опцій для обміну маршрутами між друзями або для отримання рекомендацій від інших туристів безпосередньо у додатку. Це знижує потенціал системи як інструменту для групового планування або для отримання актуальної інформації від спільноти.

Далі розглянемо систему «Komoot», яка є цифровою платформою для планування маршрутів, що спеціалізується на організації піших, велосипедних та трейлових подорожей [17]. Її алгоритми побудовані на використанні детальних топографічних карт, оцінці рельєфу, даних про покриття доріг і стежок, а також різноманітних параметрів маршруту, таких як тип покриття та складність. Komoot надає інструменти для створення маршруту відповідно до обраної активності, з

орієнтовним розрахунком фізичного навантаження. Інтерфейс системи Komoot зображено на рисунку 1.3.

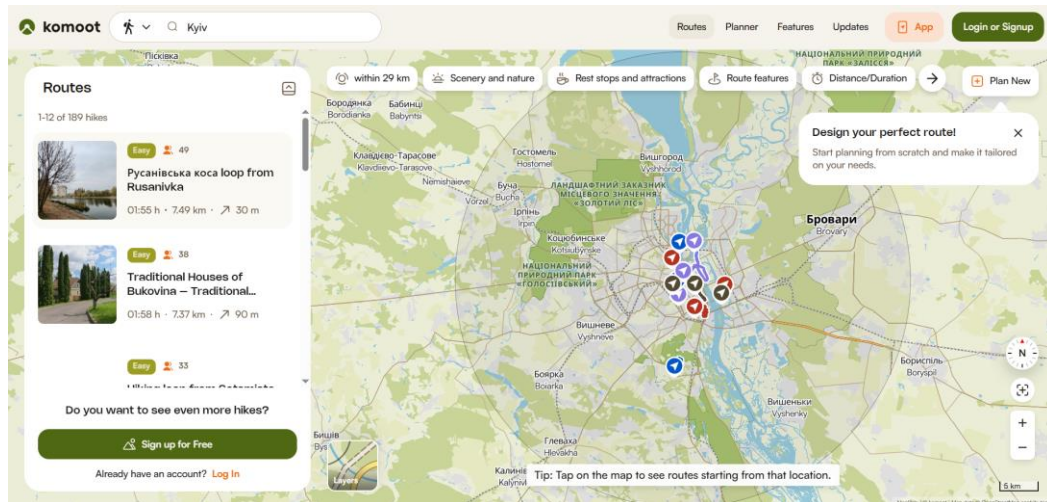


Рисунок 1.3 – Інтерфейс системи “Komoot”

Однією з ключових переваг Komoot є можливість детального налаштування параметрів маршруту для різних видів діяльності, що дозволяє працювати не лише з міським туризмом, але й з активними формами подорожей: веломаршрутами, походами, трейлами. Компанія також надає змогу завантажувати карти для офлайн-використання, що є вагомою перевагою для подорожей у зонах із слабким інтернет-покриттям або в умовах роумінгу. Додатково система підтримує автоматизовані підказки на маршруті, що базуються на GPS-треках, та інтеграцію із зовнішніми пристроями (наприклад, спортивними годинниками чи навігаторами).

Разом із тим, при використанні Komoot для загального туристичного планування виникають певні обмеження. Komoot переважно орієнтований на активні маршрути, що пов'язані з фізичною активністю – піші походи або велоподорожі. У той же час для користувачів, які шукають традиційні туристичні маршрути в межах міста, система не надає цілком оптимізовані маршрути з послідовним відвідуванням пам'яток, культурних об'єктів та обідніх точок у межах одного дня. Це пов'язано з тим, що алгоритми системи сконцентровані на

топографічних і фізичних параметрах, а не на часовому плануванні відвідувань чи логістиці між туристичними точками.

Ще одним важливим обмеженням є те, що база даних туристичних та культурних об'єктів у Komoot є не такою повною та структурованою, як у спеціалізованих туристичних сервісах. Інформація про музеї, виставки, ресторани чи пам'ятки може бути неповною або відсутньою, що зменшує корисність системи для користувачів, які планують культурний туризм. Це особливо помітно в умовах невеликих або регіональних міст, де дані можуть бути представлені лише частково.

Іншим специфічним недоліком є залежність від якісних GPS-даних і покриття кар'єрних треків. У деяких регіонах, особливо за межами популярних туристичних зон, дані про стежки можуть бути неповними або неточними, що призводить до ризику неправильного маршруту. Це вимагає від користувача додаткової перевірки маршрутів на інших ресурсах перед фактичним використанням.

Крім того, у Komoot частина розширених функцій, таких як офлайн-карти високої деталізації або спеціалізовані профілі активності, доступна лише за платною підпискою. Це створює певні обмеження для користувачів, які не бажають або не мають можливості платити за преміум-функціонал.

1.5 Формулювання вимог і постановка задачі

Сучасний етап розвитку туристичної галузі характеризується активною цифровізацією та інтеграцією з концепцією «розумного» міста. У межах цієї концепції міська інфраструктура функціонує як єдина цифрова екосистема, що об'єднує транспортні мережі, інформаційні сервіси, системи моніторингу, муніципальні платформи та сервіси відкритих даних. «Розумний» туризм є складовою цієї екосистеми та передбачає використання інформаційних технологій

і засобів ШІ для підвищення якості туристичного досвіду, оптимізації потоків відвідувачів та раціонального використання ресурсів міста.

У таких умовах традиційні інформаційні системи, що виконують лише функцію зберігання та відображення даних, є недостатніми. Туристу необхідна інтелектуальна підтримка, яка враховує його індивідуальні потреби, поточний контекст перебування та стан міської інфраструктури [18]. Саме тому виникає потреба у розробці інтелектуальної інформаційної системи для «розумного» туризму, здатної інтегруватися з компонентами Smart City та Smart Mobility і забезпечувати адаптивне формування рекомендацій.

Постановка задачі розробки інтелектуальної інформаційної системи для «розумного» туризму заключається в створенні програми, яке забезпечує комплексну інформаційну та аналітичну підтримку туриста в умовах цифрової екосистеми «розумного» міста. На відміну від традиційних туристичних сервісів, що виконують переважно функцію довідкових систем, розроблювана система має здійснювати інтелектуальний аналіз даних, враховувати контекст перебування користувача та адаптувати результати відповідно до його індивідуальних потреб.

У межах поставленої задачі система має забезпечувати інтеграцію даних із різних джерел, а саме, інформацію про туристичні об'єкти, транспортну інфраструктуру, сервіси альтернативної мобільності, завантаженість локацій, часові та сезонні параметри. Таким чином, вхідними даними є структуровані та напівструктуровані відомості про міське середовище, профіль користувача, його поведінкові характеристики та історія взаємодії з системою. Вихідними даними виступають персоналізовані рекомендації щодо вибору туристичних об'єктів, оптимізовані маршрути пересування та аналітична інформація, що підтримує прийняття рішень.

Система повинна реалізовувати механізми обробки великих обсягів різномірної інформації з використанням алгоритмів машинного навчання та методів аналізу даних. Основним завданням інтелектуального модуля є виявлення прихованих закономірностей у поведінці користувачів, визначення їхніх

уподобань і формування рекомендацій, що мають високий рівень релевантності. При цьому система повинна враховувати динамічні зміни середовища, зокрема транспортну ситуацію в режимі реального часу, доступність громадського транспорту, альтернативні способи пересування та рівень завантаженості туристичних об'єктів.

Окремим аспектом постановки задачі є забезпечення адаптивності системи. Це означає, що рекомендаційний механізм повинен уточнювати результати на основі нових отриманих даних, зворотного зв'язку від користувачів та змін контексту. Таким чином, система має функціонувати як самонавчальна модель, що постійно вдосконалює якість прийнятих рішень.

Крім того, у межах розробки необхідно передбачити інтеграцію з компонентами Smart City та Smart Mobility, що забезпечує взаємодію з міськими інформаційними платформами, транспортними сервісами та геоінформаційними системами. Це дозволяє реалізувати повний підхід до планування подорожі, коли рекомендації формуються не лише на основі статичних характеристик об'єктів, а й з урахуванням актуального стану міської інфраструктури.

З урахуванням зазначених особливостей доцільно сформулювати функціональні вимоги до системи, які визначають її основні можливості та сервіси.

Функціональні вимоги:

- формування персоналізованого профілю користувача з урахуванням його вподобань, бюджету, історії взаємодії та поведінкових характеристик;
- зберігання та обробка інформації про туристичні об'єкти з використанням структурованих і напівструктурованих даних;
- інтеграція з міськими інформаційними сервісами та відкритими даними «розумного» міста;
- отримання та аналіз даних про транспортну ситуацію та розклад громадського транспорту в режимі реального часу;

- інтеграція з сервісами альтернативної мобільності (велосипеди, електросамокати, каршеринг);
- автоматичне формування персоналізованих рекомендацій на основі алгоритмів штучного інтелекту;
- побудова оптимальних туристичних маршрутів із урахуванням транспортних, часових та контекстних параметрів;
- аналіз текстових відгуків користувачів із застосуванням методів обробки природної мови;
- адаптація рекомендацій на основі накопичених даних і змін у поведінці користувача;
- забезпечення адміністративного модуля для керування контентом і моніторингу роботи системи.

Окрім функціональних можливостей, система повинна відповідати певним якісним характеристикам, які визначають ефективність її експлуатації в умовах інтеграції з цифровою інфраструктурою «розумного» міста. Це зумовлює необхідність формування нефункціональних вимог.

Нефункціональні вимоги:

- висока продуктивність при обробці великих обсягів даних і формуванні рекомендацій у реальному часі;
- масштабованість архітектури для підтримки зростаючої кількості користувачів і сервісів розумного міста;
- надійність та безперервність функціонування при взаємодії з зовнішніми міськими платформами;
- забезпечення захисту персональних даних і безпечного обміну інформацією між системами;
- відповідність стандартам інтероперабельності для інтеграції з компонентами розумного міста;
- зручність користувацького інтерфейсу та кросплатформеність;

- можливість подальшого розширення інтелектуальних алгоритмів без суттєвої зміни архітектури системи.

Загалом, розробка та впровадження інтелектуальної інформаційної системи для «розумного» туризму передбачає створення програмного продукту, що поєднує аналітичні можливості штучного інтелекту з інфраструктурними компонентами «розумного» міста. Реалізація зазначених вимог забезпечить персоналізовану підтримку туристів, оптимізацію маршрутів з урахуванням транспортної ситуації та підвищення ефективності використання міських ресурсів, що відповідає сучасним тенденціям розвитку цифрових екосистем розумного міста.

1.6 Висновки до першого розділу

У результаті проведеного аналізу предметної області «розумного» туризму можна зробити висновок, що сучасні туристичні сервіси значною мірою залежать від інформаційно-комунікаційних технологій, які забезпечують доступ до даних, автоматизацію процесів планування подорожей та підвищення комфорту туристів.

Зростання туристичного сектору також впливає на транспортний та комунікаційний сектори, які через зростання попиту на подорожі стали одними з основних споживачів інновацій та інформаційних технологій, а саме: глобальні системи розподілу, системи бронювання, електронні інформаційно-комунікаційні системи. Спостерігалось явне збільшення кількості авіакомпаній, транспортних компаній, а також збільшення кількості повітряних перевезень [19]. Глобальні системи розподілу надають можливість значно покращити досвід клієнтів за рахунок скорочення часу бронювання, підвищення якості обслуговування та загальної ефективності роботи персоналу.

Однією з цілей даного розділу було визначення типів систем штучного інтелекту, що використовуються туристами, та цілей, для яких вони використовуються в даний час. Завдяки отриманим даним можна зробити

висновок, що вибірка туристів використовує безліч систем, пов'язаних зі штучним інтелектом, а саме QR-коди, автоматичний переклад, чат-боти та голосові помічники. Також, ці сервіси використовуються для безлічі цілей на різних етапах подорожі (до, під час та після поїздки), що головним чином дозволяє адаптувати туристичний досвід до їхніх різноманітних потреб та вподобань.

У межах аналізу існуючих програмних рішень було виявлено ключові недоліки, які обмежують їх ефективність: низький рівень адаптивності, обмежена інтеграція з міською інфраструктурою, недостатня підтримка альтернативних способів пересування та обмежені аналітичні можливості. Ці фактори обґрунтовують необхідність розробки нової інформаційної інтелектуальної системи, що інтегрується з компонентами «розумного міста» та «розумної мобільності» і здатна забезпечити персоналізовану підтримку туристів у режимі реального часу.

Проведений аналіз дозволив визначити основні функціональні та нефункціональні вимоги до розроблюваної системи, визначено об'єкт та предмет дослідження, а також поставлені ключові задачі щодо інтеграції інтелектуальних алгоритмів та цифрових сервісів міста.

2. МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Загальна архітектура інтелектуальної інформаційної системи для «розумного» туризму

Розробка сучасних інформаційних систем у сфері туризму вимагає використання комплексних програмних рішень, які здатні обробляти великі обсяги інформації, аналізувати запити користувачів та формувати персоналізовані рекомендації. У контексті концепції «розумного» туризму особливого значення набувають інтелектуальні інформаційні системи, що поєднують методи штучного інтелекту, аналізу даних та алгоритми оптимізації для автоматизації процесу планування подорожей.

Інтелектуальна інформаційна система, що розробляється у межах даного дослідження, призначена для автоматичного формування туристичних маршрутів на основі параметрів, заданих користувачем. Основною метою системи є допомога користувачеві у плануванні подорожі шляхом підбору оптимальних туристичних локацій, готелів та маршруту відвідування об'єктів відповідно до його інтересів, бюджету та тривалості поїздки.

У межах даної роботи архітектура інтелектуальної системи планування подорожей базується на клієнт-серверній моделі з використанням протоколу передачі даних REST [20]. На логічному рівні програмний комплекс реалізовано за допомогою архітектурного шаблону MVC. Такий підхід дозволяє розділити систему на окремі функціональні рівні, що відповідають за представлення інформації, обробку запитів користувачів та управління даними.

Клієнт-серверна архітектура має певні відмінні конструктивні особливості, які виділяють її серед інших. По-перше, як клієнтські, так і серверні комп'ютери потребують протоколу, за допомогою якого вони можуть обмінюватися інформацією та спільно її використовувати. Ці комп'ютери взаємодіють

безпосередньо з протоколом транспортного рівня. У моделі OSI існують рівні, через які проходить інформація під час переміщення від одного комп'ютера до іншого, тому протокол стає у пригоді для забезпечення того, щоб кожен із цих рівнів міг розуміти та передавати дані під час їх руху крізь нього. Транспортний рівень використовує протоколи нижніх рівнів для надсилання та отримання повідомлень. Логічна структура взаємодії між основними компонентами системи представлена на рисунку 2.1.

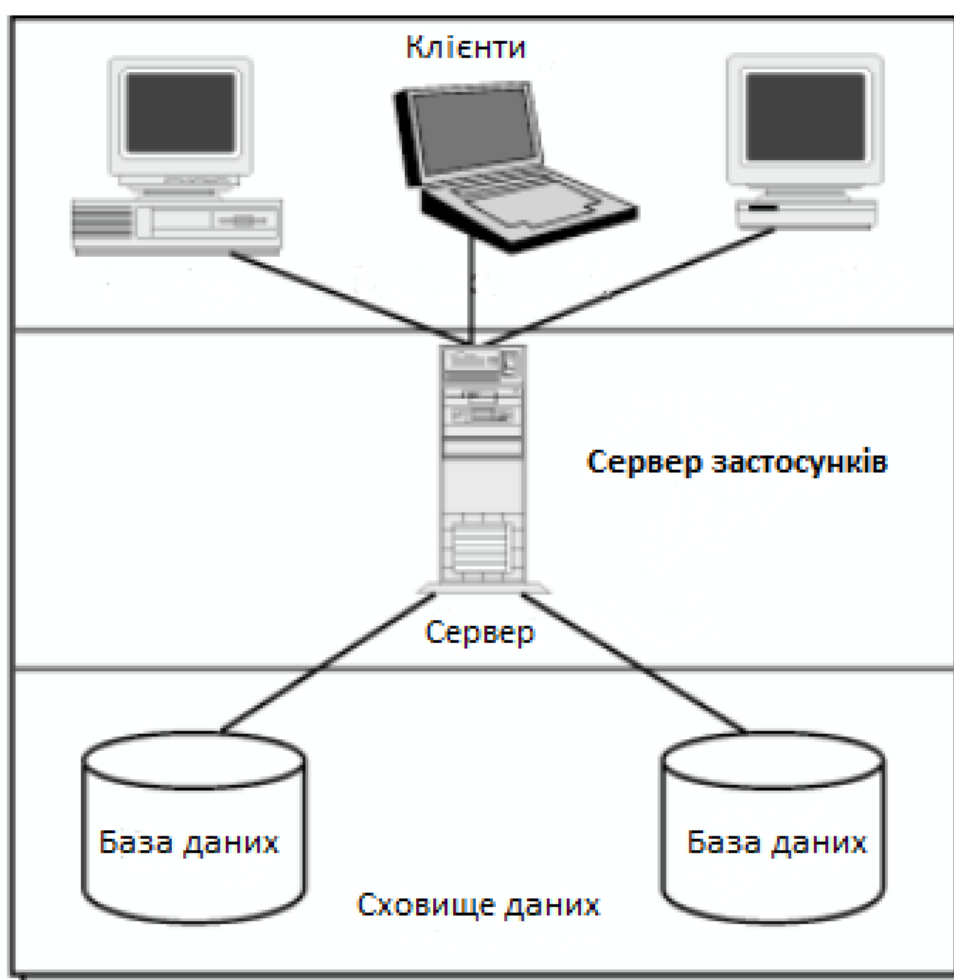


Рисунок 2.1 – Трирівнева архітектура інтелектуальної інформаційної системи [21]

Іншою характеристикою є здатність одного сервера обслуговувати кілька запитів одночасно, при цьому сервер потребує різних програм, які можуть обробляти ці запити. Ще однією важливою характеристикою цієї архітектури є її

масштабованість як вертикально, так і горизонтально, відтак до архітектури можна підключати все більше серверів для підтримки обробки робочого навантаження. Водночас можливості сервера, такі як оперативна пам'ять (RAM) та центральний процесор, можуть бути збільшені. У клієнт-серверній архітектурі клієнтські та серверні комп'ютери можуть працювати на гетерогенних апаратних та програмних ресурсах.

З моменту свого виникнення та впровадження клієнт-серверна архітектура принесла кілька рішень та інновацій, деякі з яких дозволили полегшити співпрацю та спільне використання ресурсів. Однією з визначних особливостей цієї архітектури є її здатність централізовано зберігати дані з віддаленим доступом із клієнтських комп'ютерів, географічно розподілених по всьому світу. Це в ідеалі означає, що доступ до ресурсів сервера можна отримати з кількох локацій. Разом із цим розподілом приходять масштабованість, оскільки все більше ресурсів можна легко підключити до архітектур та використовувати з будь-якого місця. Це збільшило обчислювальну потужність архітектури та забезпечило мінімальний час виконання або його відсутність під час обслуговування запитів. Така модель робить підтримку ресурсів у цій архітектурі простішою та дешевшою, оскільки ними можна керувати централізовано. Можливе балансування навантаження, оскільки архітектура дозволяє легко підключати додаткові надлишкові сервери та сервери-репліки, які розподіляють робоче навантаження і водночас пропонують легший варіант відновлення у разі збою одного сервера. Усе це спрямовано на те, щоб зробити спільне використання ресурсів можливим незалежно від фізичного розташування користувача.

Поряд із перевагами існують недоліки, які потенційно можуть завадити її впровадженню, якщо їх не врахувати та не керувати ними належним чином. Одним із ключових недоліків цієї архітектури є забезпечення безпеки будь-якого спільного ресурсу. Згідно з її дизайном, уся інформація зберігається централізовано, тому будь-яка проблема з мережевим з'єднанням між клієнтом і сервером може потенційно вплинути на придатність цієї моделі до використання

або перешкодити їй. Будь-яка технічна проблема з сервером унеможливить підключення клієнтських комп'ютерів та доступ до будь-якого ресурсу сервера.

Атаки типу «людина посередині» та відмова в обслуговуванні є одними з найпоширеніших атак, які потенційно впливають на реалізацію цієї архітектури. DoS робить ресурси недоступними, тоді як «людина посередині» змінює інформацію під час її надсилання між клієнтом і сервером. Інші атаки включають спуфінг пакетів та інші. Початкове впровадження цієї архітектури є дуже дорогим, оскільки воно передбачає придбання та налаштування потужних серверів, встановлення механізмів безпеки, таких як придбання та встановлення фаєрволів, налаштування мережі тощо.

Окрім фізичного розподілу на клієнтську та серверну частини, програмна реалізація інтелектуальної системи базується на архітектурному шаблоні MVC [22]. Вибір даного патерну зумовлений необхідністю забезпечення гнучкості системи та можливості незалежної модифікації її компонентів. Зокрема, це дозволяє змінювати алгоритми обробки природної мови на рівні Контролера без необхідності перепроєктування інтерфейсу користувача.

Архітектура патерну MVC за своєю суттю є трирівневою архітектурою. Вона забезпечує чіткий розподіл функціональних характеристик додатка. Перший рівень відповідає за логіку введення даних користувачем, другий – за бізнес-логіку, а третій рівень використовується для реалізації логіки інтерфейсу користувача. MVC забезпечує дуже слабке зв'язування (loose coupling) між цими трьома рівнями. Даний патерн використовується для чіткого визначення місця розташування кожного типу логіки в прикладному програмному забезпеченні.

Важливою перевагою патерну MVC є можливість паралельної розробки. Це означає, що кожен рівень додатка функціонує незалежно від інших, завдяки чому троє розробників можуть одночасно працювати над одним проектом. Поки один фахівець зосереджений на логіці введення (контролер), інший працює над інтерфейсом користувача (представлення), а третій паралельно розробляє бізнес-

логіку (модель). Детальна схема взаємодії між цими компонентами, а також механізми сповіщення про зміни та обробки подій, представлені на рисунку 2.2.

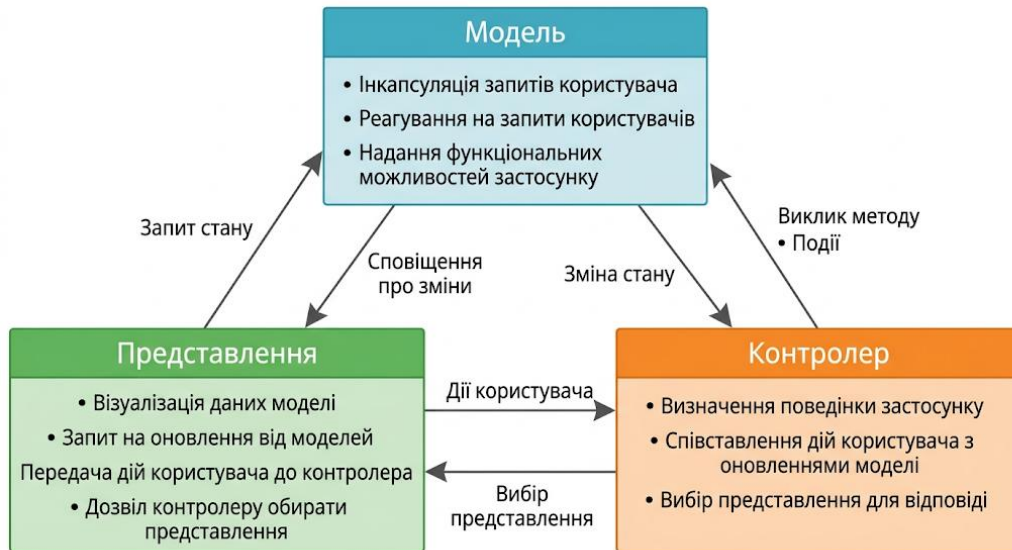


Рисунок 2.2 – Трирівнева архітектура інтелектуальної інформаційної системи [23]

Використання патерну MVC у межах даної розробки дозволяє досягти високого рівня абстракції та декомпозиції логічних процесів системи «розумного» туризму. Рівень моделі в цій структурі бере на себе функцію інкапсуляції стану системи та відповідає за персистентне зберігання даних, забезпечуючи надійну взаємодію з нереляційним сховищем MongoDB для коректного опрацювання складних об'єктів туристичних маршрутів. Наступний рівень представлення реалізує інтерфейсну логіку на базі реактивних компонентів, що не лише візуалізують отриману від ШІ інформацію у зручному для туриста форматі, а й здійснюють динамічний збір контекстних вхідних параметрів для формування запитів. Керівну роль у цьому процесі відіграє контролер, який функціонує як інтелектуальний посередник: він перехоплює дії користувача, координує виклики зовнішніх API-моделей штучного інтелекту та синхронізує отримані результати з базою даних, забезпечуючи цілісність усього операційного циклу системи.

2.2 Моделі подання та обробки туристичної інформації

Ефективність сучасних інтелектуальних систем у сфері «розумного» туризму безпосередньо залежить від глибини опрацювання моделей подання знань. Туристична інформація за своєю природою є надзвичайно складною для формалізації: вона поєднує в собі географічні координати, часові обмеження, економічні показники та суб'єктивні вподобання користувачів. У межах даної роботи було розроблено багаторівневу модель подання даних, яка відходить від традиційних жорстких структур на користь гнучких, об'єктно-орієнтованих документів, що дозволяє системі адаптуватися до мінливих умов та специфіки відпочинку в реальному часі.

Традиційні реляційні моделі даних, що базуються на суворій табличній структурі, виявляються малоефективними при роботі з генеративними моделями штучного інтелекту. Оскільки відповіді від великих мовних моделей, таких як Gemini AI, можуть містити різну кількість атрибутів або специфічні поля для різних регіонів, було обрано документо-орієнтовану модель подання знань на базі формату JSON.

Такий підхід дозволяє реалізувати принцип «схеми за запитом». Це означає, що система може зберігати об'єкти туристичних локацій з довільним набором характеристик: для однієї пам'ятки це може бути історична довідка та архітектурний стиль, а для іншої – розклад сеансів або наявність аудіогідів. Така гнучкість забезпечує високу масштабованість системи, оскільки додавання нових типів даних (наприклад, інформації про екологічний стан локації або завантаженість у реальному часі) не вимагає перебудови всієї бази даних та зупинки сервісу.

Центральним елементом системи є модель туристичної локації, яка виступає як комплексний інформаційний вузол. Вона не обмежена лише назвою та описом, а містить глибоку семантичну структуру. По-перше, це просторовий блок, що включає точні географічні координати та логістичні мітки. По-друге, це блок

часової доступності, де враховуються не тільки години роботи, а й сезонність відвідування.

Особлива увага в моделі приділяється атрибутам «динамічної ваги». Система аналізує середню тривалість перебування на об'єкті та його рейтинг серед різних категорій туристів [24]. Це дозволяє розділити локації на основні (які обов'язково мають увійти в маршрут) та другорядні (які використовуються для заповнення пауз у графіку). Крім того, модель локації містить метадані про територіальну близькість до інших вузлів, що створює основу для подальшої оптимізації переходів між ними. Усі ці дані представлені у вигляді вкладених об'єктів, що дозволяє проводити швидку фільтрацію на рівні сервера застосунків.

У системі «розумного» туризму модель готелів та житла розглядається не просто як довідник адрес, а як економічний інструмент персоналізації. Ця модель інтегрує в себе дані про цінові діапазони, рівень сервісу та специфічні зручності, які корелюють із профілем користувача.

Процес подання інформації про житло побудований на принципі семантичної відповідності. Наприклад, якщо користувач вказує пріоритетом «культурний відпочинок», модель надає перевагу об'єктам розміщення в історичних центрах міст, навіть якщо вони мають вищу ціну. Це досягається за допомогою тегування та класифікації об'єктів у базі даних MongoDB. Обробка цієї моделі включає етап порівняння бюджетних обмежень користувача з поточною вартістю проживання, що дозволяє системі відсікати нерелевантні варіанти ще на етапі первинної генерації відповіді ШІ.

Найбільш інноваційною частиною підрозділу є модель маршруту, яка є результатом синтезу всіх попередніх моделей. У даній системі маршрут розглядається не як статичний список місць, а як динамічна послідовність подій, розподілена в часі та просторі.

Модель маршруту структурується за днями та годинами. Вона містить у собі логічні переходи, де враховано час на переміщення, обідні перерви та навіть резервний час на випадок затримок. Кожна точка маршруту в моделі

супроводжується поясненням «чому саме це місце було обрано», що підвищує рівень довіри користувача до рекомендацій системи.

Обробка маршрутів відбувається через механізми семантичного збагачення [25]. Коли мовна модель Gemini генерує послідовність точок, серверна частина системи «розпаковує» цю відповідь, звіряє її з реальною наявністю локацій у базі даних та проводить валідацію часових слотів. Таким чином, модель маршруту стає інтерактивною: вона може бути змінена користувачем, а система автоматично перерахує всі наступні етапи подорожі, зберігаючи логічну цілісність плану.

Для того щоб система могла надавати релевантні поради, необхідно правильно змоделювати самого користувача. Модель користувацького запиту в системі виконує роль вхідного вектора контексту. Вона збирає розрізнені дані: місто призначення, тривалість поїздки, бюджет, кількість учасників та найголовніше – семантичний опис інтересів.

Процес обробки цієї моделі полягає у трансформації природної мови користувача у структурований набір інструкцій для штучного інтелекту. Система проводить попередній аналіз запиту, виділяючи ключові слова (наприклад, «архітектура», «гастрономія», «активний відпочинок») і надаючи їм вагові коефіцієнти. Це дозволяє реалізувати когнітивну модель обробки, де система «розуміє» настрій подорожі. Наприклад, при запиті на «сімейну подорож» модель автоматично додає до критеріїв обробки безпеку, наявність дитячих майданчиків та мінімізацію піших переходів.

Завершальний етап обробки туристичної інформації полягає у створенні моделі результату або рекомендації. Це критичний момент, коли неструктуровані знання, отримані від великої мовної моделі, перетворюються на технічно валідний продукт. Процес обробки на цьому етапі включає декілька фаз.

Перша фаза це семантичний парсинг. Отриманий текст від Gemini AI аналізується на наявність структурних елементів (назви локацій, часові мітки). Друга фаза це верифікація даних. Система перевіряє, чи існують згенеровані локації в реальному світі та чи відповідають вони заданому бюджету [26]. Третя

фаза це фінальна серіалізація в об'єкт, який через REST API передається на клієнтську частину (React).

Використання такої комплексної моделі обробки дозволяє вирішити головну проблему інтелектуальних систем – проблему «галюцинацій» ШІ. Завдяки тому, що кожна рекомендація проходить крізь фільтри структурованих моделей даних у MongoDB, користувач отримує не просто текст, а перевірений, логічно обґрунтований та технічно реалізований план подорожі. Такий підхід забезпечує високу надійність системи та робить її придатною для реального використання в індустрії туризму, де точність інформації має вирішальне значення.

2.3 Методи машинного навчання та рекомендаційні алгоритми

Інтелектуальна система «розумного» туризму використовує комбінацію генеративного ШІ та класичних методів машинного навчання для обробки туристичної інформації та формування персоналізованих рекомендацій.

Для забезпечення максимальної логістичної ефективності в системі доцільно застосовувати гібридний підхід до кластеризації, що поєднує алгоритми DBSCAN та k-means [27]. Алгоритми кластеризації дозволяють групувати туристичні локації за географічною близькістю, тематикою або популярністю серед туристів. Використання алгоритмів K-Means дозволяє визначити заздалегідь кількість груп, у яких об'єкти мають максимальну схожість всередині кластеру та мінімальну між кластерами. Алгоритм DBSCAN дозволяє виділяти щільні групи об'єктів, при цьому ігноруючи розрізнені об'єкти, які не впливають на оптимальність маршруту. Ієрархічна кластеризація формує деревоподібну структуру групування, що зручно для побудови маршруту по пріоритету відвідування. Кластеризація забезпечує системі можливість формувати логічні маршрути з мінімальними витратами часу на пересування між об'єктами, а також полегшує подальше ранжування та оптимізацію списку об'єктів.

Кластеризація k-means – це алгоритм на основі відстаней, що використовується для групування або кластеризації об'єктів відповідно до вимірних або сприйнятих внутрішніх характеристик чи подібностей [28]. Ця техніка, що застосовується для виявлення природних групувань закономірностей, точок або об'єктів, є неоціненною для аналізу великих баз багатовимірних даних, що залучають багато ознак у сферах інтелектуального аналізу даних (data mining), статистичного аналізу даних, розпізнавання образів та обробки зображень.

З математичної точки зору алгоритм k-means спрямований на мінімізацію сумарної відстані між об'єктами даних та центрами відповідних кластерів. Іншими словами, алгоритм прагне сформувати такі групи об'єктів, у яких внутрішня схожість є максимальною, а відмінність між різними кластерами – максимальною. Для цього на кожній ітерації виконується перерахунок центрів кластерів та повторне призначення об'єктів до найближчого центру.

Формально задача кластеризації (у формулі 2.1) в алгоритмі k-means описується через функцію оптимізації, яка мінімізує суму квадратів відстаней між кожною точкою та центром її кластеру [29].

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (2.1)$$

де k – кількість кластерів,

S_i – множина точок, що належать i кластеру,

μ_i – центр відповідного кластеру,

x – окрема точка набору даних.

Ініціалізація зазвичай впливає на алгоритм кластеризації k-means, і йому повинна бути заздалегідь задана кількість кластерів. Загалом, початкові центри кластерів обираються випадковим чином, що впливає на остаточне формування кластерів; це означає, що результат кластеризації може відрізнитися при кожному виконанні алгоритму, навіть на одному і тому ж наборі даних. Багато дослідників

запропонували методи визначення початкових центрів кластерів для алгоритму k-means. Хоча важливо визначити кількість кластерів, необхідних для кластеризації k-means, це може бути складним завданням для кінцевих користувачів, які не мають глибокого розуміння набору даних. У літературі було запропоновано кілька методів для вирішення цієї проблеми, включаючи емпіричне правило, метод ліктя, підхід на основі інформаційних критеріїв, інформаційно-теоретичний підхід, вибір кількості кластерів (k) за допомогою методу силуету та перехресну перевірку.

Однак техніка k-means вимагає масштабування ознак на етапі попередньої обробки – процесу, який часто ігнорується. Алгоритм k-means покладається на метрики на основі відстані (наприклад, евклідову відстань) для нівелювання варіацій масштабу [30]. Це означає, що результати можуть змінюватися залежно від діапазону значень, використаних для ознак, і чим менша відстань, тим ближче точки будуть одна до одної, вказуючи таким чином на їхню подібність. Особливо при аналізі реальних наборів даних, ознаки можуть мати різні масштаби, оскільки вони вимірюються з використанням різних одиниць. Масштабування ознак до єдиного діапазону, щоб уникнути переважання будь-якої ознаки при розрахунку відстані та допомогти покращити результати кластеризації, є вирішальним для підвищення продуктивності алгоритму k-means.

Нормалізований набір даних дає кращі результати під час процесу кластеризації необроблених даних. Згідно з нещодавніми дослідженнями, велика величина значень впливає на відстань між двома заданими точками, що позначається на продуктивності кластеризації k-means, оскільки змінним з більшими величинами надається більша вага. Отже, завжди доцільно приводити всі ознаки до одного масштабу для застосування алгоритмів на основі відстані, таких як кластеризація k-means.

Хоча масштабування ознак зазвичай рекомендується як крок попередньої обробки перед кластеризацією, існує обмежена кількість досліджень щодо того, як саме масштабування ознак впливає на продуктивність кластеризації, особливо коли всі ознаки мають однакові або різні одиниці вимірювання. Тому метою

даного дослідження є вивчення та з'ясування того, чи є масштабування ознак важливим етапом попередньої обробки шляхом розгляду двох сценаріїв: наборів даних, у яких одиниці вимірювання ознак є однаковими або різними.

На концептуальному рівні процес кластеризації спрямований на ідентифікацію природних закономірностей у даних, де об'єкти зі схожими властивостями об'єднуються в один кластер, а об'єкти з відмінними характеристиками – розносяться у різні групи [31]. Загальний принцип формування таких структур представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Концептуальна схема формування кластерів за допомогою алгоритмів групування

У контексті туристичної системи алгоритм «k-means» дозволяє трансформувати неструктурований простір потенційних локацій у чітко визначені сегменти.

На початковому етапі дані зазвичай мають хаотичний вигляд, де координати пам'яток, цінові показники чи часові обмеження не мають видимих зв'язків. Процес обробки алгоритмом дозволяє математично визначити центри тяжіння і закріпити за ними найближчі точки, що призводить до впорядкування інформаційного поля. Для візуалізації цього перетворення доцільно порівняти стан системи до моменту застосування алгоритму та після завершення його ітерацій, як це продемонстровано на рисунку 2.4.

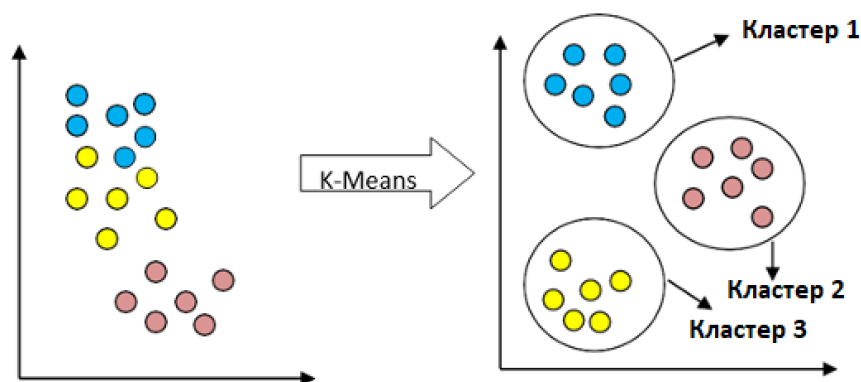


Рисунок 2.4 – Візуалізація стану даних до та після застосування алгоритму кластеризації

Після того, як первинний масив туристичних об'єктів був структурований за допомогою алгоритму k-means за критерієм типу дозвілля та вподобань користувача, система переходить до етапу географічної кластеризації за допомогою алгоритму DBSCAN. На цьому етапі основною метою є виявлення щільних скупчень об'єктів у межах кожної категорії, що дозволяє сформувати реальні «туристичні хаби». Головна перевага DBSCAN у даному контексті полягає в тому, що він не вимагає попередньої вказівки кількості кластерів, а натомість самостійно визначає структуру простору на основі заданої щільності точок [32].

Для наочної демонстрації переваг використання щільнісного підходу в межах інтелектуальної системи планування маршрутів доцільно розглянути приклад роботи алгоритму DBSCAN на наборі даних із різною щільністю та геометричною конфігурацією об'єктів. Результат такої класифікації, де чітко виділені основні туристичні ареали та ізольовані об'єкти, наведено на рисунку 2.5.

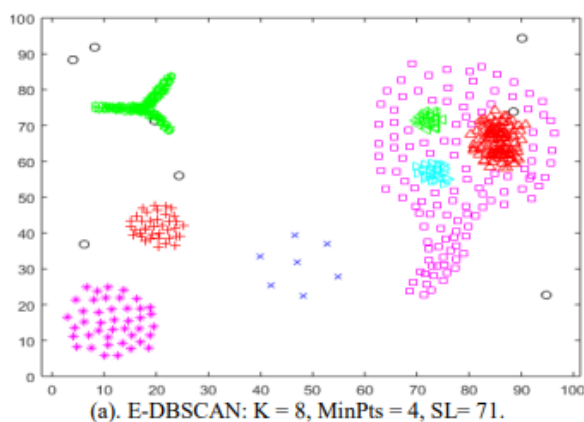


Рисунок 2.5 – Результат просторової сегментації алгоритмом DBSCAN: виділення кластерів складної форми та ідентифікація аномальних точок [33]

Алгоритм використовує параметр ε (радіус), який у системі адаптований під стандарти міської логістики – зазвичай це відстань від 800 до 1200 метрів. Математично алгоритм розраховує Евклідову відстань між координатами lat та lng для кожної пари об'єктів у межах обраної категорії дозвілля за формулою (2.2).

$$d(P, Q) = \sqrt{(lat_P - lat_Q)^2 + (lng_P - lng_Q)^2} \quad (2.2)$$

Якщо в заданому радіусі ε знаходиться кількість об'єктів, що відповідає параметру $MinPts$, система ідентифікує цю область як пріоритетний кластер. Це гарантує, що застосунок запропонує користувачу не просто окремі місця, а цілі локаційні центри, де можна відвідати кілька об'єктів поспіль без великих витрат часу на дорогу.

Найважливішою функцією DBSCAN для архітектури застосунку є механізм виявлення шумових точок. Оскільки ШІ-моделі іноді можуть пропонувати локації, що знаходяться на значній відстані від центру туристичної активності (наприклад, пам'ятка в іншому районі або передмісті), DBSCAN автоматично класифікує такі точки як шум. У контексті інтерфейсу користувача це означає, що система «відфільтровує» логістично недоцільні пропозиції, залишаючи лише ті, що

формують щільні та зручні маршрути. Таким чином, точки, що потрапили в категорію «шум», не видаляються назавжди, але позначаються як другорядні або такі, що потребують окремого планування, що запобігає перевтомі туриста та оптимізує його часовий ресурс.

Завершальний етап роботи алгоритму в застосунку полягає в інтеграції отриманих просторових кластерів із інтерфейсом відображення. На відміну від центроїдних методів, DBSCAN дозволяє знаходити кластери довільної форми, що ідеально відповідає реальній забудові міст, де туристичні зони часто витягнуті вздовж набережних або центральних магістралей. У результаті користувач отримує персоналізовану мапу, де локації не просто відсортовані за інтересами, а логічно об'єднані в групи за їхньою фізичною доступністю. Це перетворює застосунок із простого порадики на повноцінний навігаційний інструмент, який самостійно мінімізує «порожні» пробіги між локаціями та створює максимально насичений і комфортний досвід подорожі.

2.4 Використання методів обробки природної мови в системі

У сучасних інтелектуальних інформаційних системах роль інтерфейсу між користувачем і складними математичними алгоритмами відіграють методи обробки природної мови. У межах розробленої системи «розумного» туризму NLP-модуль виконує функцію когнітивного аналізатора, який трансформує неструктуровані, часто багатозначні запити користувача у детерміновані структури даних, придатні для подальшої обробки алгоритмами.

Особливістю реалізації NLP-модуля в даній роботі є використання великих мовних моделей, зокрема архітектури Google Gemini. На відміну від класичних методів обробки тексту, що базуються на жорстких правилах або статистичних моделях попередніх поколінь, LLM дозволяють системі оперувати глибоким семантичним контекстом та розуміти складні наміри користувача через механізми трансформерної архітектури.

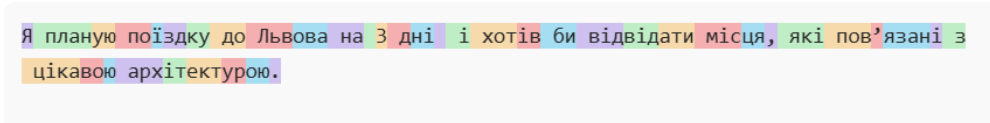
Використання моделі Gemini 1.5 Flash забезпечує системі можливість обробляти запити з високим ступенем абстракції. Завдяки механізмам самоуваги, модель здатна динамічно визначати пріоритетність слів у реченні, що дозволяє точно ідентифікувати туристичні преференції навіть у неструктурованих повідомленнях. Це вирішує проблему «семантичного розриву», коли користувач описує настрій, а система трансформовує це у конкретні категорії локацій.

Проте, для того щоб нейронна мережа змогла здійснити описаний семантичний аналіз та подолати розрив між абстрактним описом і конкретними даними, вхідний текст має пройти через процес фундаментальної деконструкції. Першим і найбільш критичним етапом цього процесу є токенізація.

У контексті архітектури Google Gemini, токенізація виступає як метод перетворення неперервного потоку символів у дискретні математичні одиниці – токени. На відміну від застарілих підходів, де текст розбивався суворо по пробілах або знаках пунктуації, сучасні LLM використовують вдосконалені алгоритми підслівного кодування, такі як Byte Pair Encoding або SentencePiece [34]. Це дозволяє системі ефективно обробляти складні морфологічні конструкції мови, розбиваючи рідкісні слова на значущі частини (корені, префікси, суфікси). Такий підхід вирішує проблему «невдомих слів», оскільки будь-яке нове слово може бути представлене як комбінація вже відомих підслівних токенів.

Наочний приклад процесу деконструкції природномовного запиту на рівні токенів представлено на рисунку 2.6. На вхідному реченні обсягом у 102 символи алгоритм виділяє 41 токен.

Токени	Символи
41	102



Я планую поїздку до Львова на 3 дні і хотів би відвідати місця, які пов'язані з цікавою архітектурою.

Рисунок 2.6 – Візуалізація результату токенізації запиту користувача для моделі класу LLM

Для трансформації генеративної потужності моделі Google Gemini у детермінований аналітичний інструмент у роботі було застосовано комплекс методів промпт-інжинірингу. Оскільки великі мовні моделі за своєю природою схильні до варіативності та «галюцинацій».

Першим етапом структурування запиту є призначення моделі чітко визначеної ролі. У системному промпті модель визначається як «інтелектуальний агент-урбаніст та професійний гід». Це обмежує семантичний простір імовірних відповідей, змушуючи ШІ використовувати логіку територіального планування та перевірені факти про туристичну інфраструктуру.

Для стабілізації формату відповіді в архітектурі системи використано техніку Few-shot Prompting [35]. На відміну від запитів «zero-shot», де модель отримує лише інструкцію, few-shot підхід передбачає надання моделі декількох еталонних прикладів (патернів) успішно сформованих маршрутів. Це дозволяє моделі розпізнати бажану структуру даних та стилістику описів на основі зразків. Надання прикладів конкретних назв реальних об'єктів (наприклад, «Ейфелева вежа» замість «Місцева пам'ятка») слугує когнітивним якорем, що зводить до мінімуму ймовірність використання загальних абстрактних назв.

Процес інтелектуальної обробки запиту, зображений на рисунку 2.7, демонструє механізм динамічного формування промпту. Замість використання статичних прикладів, система звертається до векторного сховища, де зберігаються еталонні зразки туристичних маршрутів.



Рисунок 2.7 – Схема динамічного підбору релевантних варіантів через векторне сховище для формування контексту LLM [36]

Оскільки результати роботи NLP-модуля мають бути передані алгоритмам кластеризації k-means та DBSCAN, було впроваджено техніку JSON Output Steering. У промпті жорстко регламентується структура вихідного об'єкта із вказанням обов'язкових ключів. Це перетворює модель на інтелектуальний серіалізатор, який проводить відображення природної мови у формат JSON. Використання цієї техніки гарантує синтаксичну цілісність даних, що дозволяє серверній частині застосунку проводити автоматичну обробку відповідей без ризику виникнення помилок виконання.

Одним із найбільш ефективних методів підвищення достовірності даних є впровадження негативних обмежень. У промпті чітко прописуються заборони на використання плейсхолдерів, вигаданих координат або неіснуючих локацій. Ця техніка діє як запобіжний фільтр, що змушує модель проводити внутрішню верифікацію знань перед видачею результату. У разі відсутності точних даних про об'єкт, модель програмується на звернення до зовнішнього контексту або повернення помилки, що запобігає дезінформації користувача.

Для подолання проблеми «галюцинацій» у системі реалізовано метод Context Injection [37]. Перед фінальною генерацією маршруту система проводить динамічний збір даних із зовнішніх геоінформаційних джерел (Wikipedia,

OpenStreetMap API) і подає ці реальні факти в промпт як «заземлюючий» контекст. Це гарантує, що ШІ не вигадує локації самостійно, а проводить інтелектуальну селекцію та опис реально існуючих об'єктів. Таким чином, модель виконує функцію синтезатора знань, що базується на об'єктивній геопросторовій інформації.

Завершальною технікою промпт-інжинірингу в системі є логіка ітераційного уточнення. У разі, якщо перший вихід моделі не відповідає заданим критеріям якості (наприклад, містить порожні поля або некоректні типи даних), система автоматично ініціює «промпт-корекцію». Моделі надсилається повідомлення про виявлену помилку з вимогою провести повторну валідацію. Це реалізує принцип замкненого циклу керування, де якість вихідного продукту (плану подорожі) контролюється на кожному етапі, забезпечуючи високу точність та логістичну релевантність фінальних рекомендацій.

2.5 Вибір програмних засобів і технологій реалізації

Успішна розробка інтелектуальної інформаційної системи «розумного» туризму потребує архітектурного підходу, який поєднує високу продуктивність обробки великих масивів геопросторових даних із гнучкістю інтеграції сучасних моделей штучного інтелекту. Для реалізації проєкту було обрано стек технологій MERN (MongoDB, Express, React, Node.js), що дозволяє створити ізоморфне програмне середовище з використанням єдиної мови програмування – JavaScript/TypeScript. Це значно спрощує підтримку кодової бази та забезпечує високу швидкість передачі даних між клієнтом і сервером.

Для побудови користувацького інтерфейсу обрано бібліотеку React.js. Головною перевагою даної технології є компонентно-орієнтований підхід, який дозволяє розбити складний інтерфейс планувальника на незалежні модулі: карту, чат-асистент, список локацій та панель налаштувань.

React.js реалізує односторонній потік даних, спрощуючи шаблон та виявляє себе простішим за традиційне зв'язування даних [38]. Використання механізму Virtual DOM забезпечує миттєве оновлення графічних елементів при динамічній зміні маршруту через ШІ-чат, не потребуючи повного перезавантаження сторінки.

З різних причин повторний рендеринг всього DOM після кожної зміни є складним. По-перше, перемальовування займає багато часу. Кожна зміна вимагає перерахунку та повторного застосування стилів і розмірів, що призводить до каскадного повторного застосування CSS. Робота безпосередньо з DOM вважається повільною через процес макетування. По-друге, дані будуть приховані. Наприклад, повторний рендеринг DOM призведе до втручання в поля форми та скидання положення смуги прокрутки, а анімація також скинеться. Нарешті, без буферизації повторний рендеринг призведе до миготіння екрана. Робота над віртуальним DOM, з іншого боку, відрізняється від роботи над реальним DOM, оскільки макетування не потрібне. React.js створює патчі для DOM браузера, обчислюючи різницю між віртуальними та зміненими піддеревами. Віртуальний DOM може використовувати вибіркоче повторне рендеринг піддерева, викликаючи `setState()` для певних компонентів.

Процес взаємодії між віртуальним та реальним представленням інтерфейсу в системі «розумного» туризму представлено на рисунку 2.8.

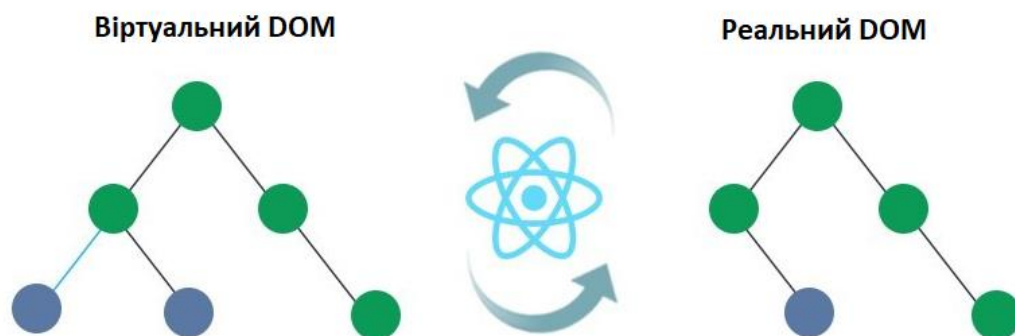


Рисунок 2.8 – Схема механізму оновлення інтерфейсу через порівняння віртуального та Реального DOM у бібліотеці React.js [39]

Серверна частина системи базується на середовищі виконання Node.js та веб-фреймворку Express. Оскільки інтелектуальна система передбачає велику кількість асинхронних викликів до сторонніх API (Gemini, Wikipedia, OSM), неблокуюча модель введення-виведення Node.js є оптимальним рішенням. Механізм Event Loop дозволяє серверу обробляти тисячі паралельних з'єднань без створення нових потоків, що забезпечує стабільну роботу системи при високому навантаженні.

Для реалізації функції групової координації та миттєвого обміну повідомленнями використано бібліотеку Socket.io [40]. Протокол WebSockets, на якому базується дана бібліотека, дозволяє підтримувати постійне двостороннє з'єднання. Це дає змогу реалізувати «живі» оновлення маршруту: коли один учасник групи вносить зміни через AI-асистента, всі інші учасники миттєво бачать оновлену мапу у своїх клієнтах.

Процес встановлення та підтримки такого з'єднання детально зображено на рисунку 2.9.

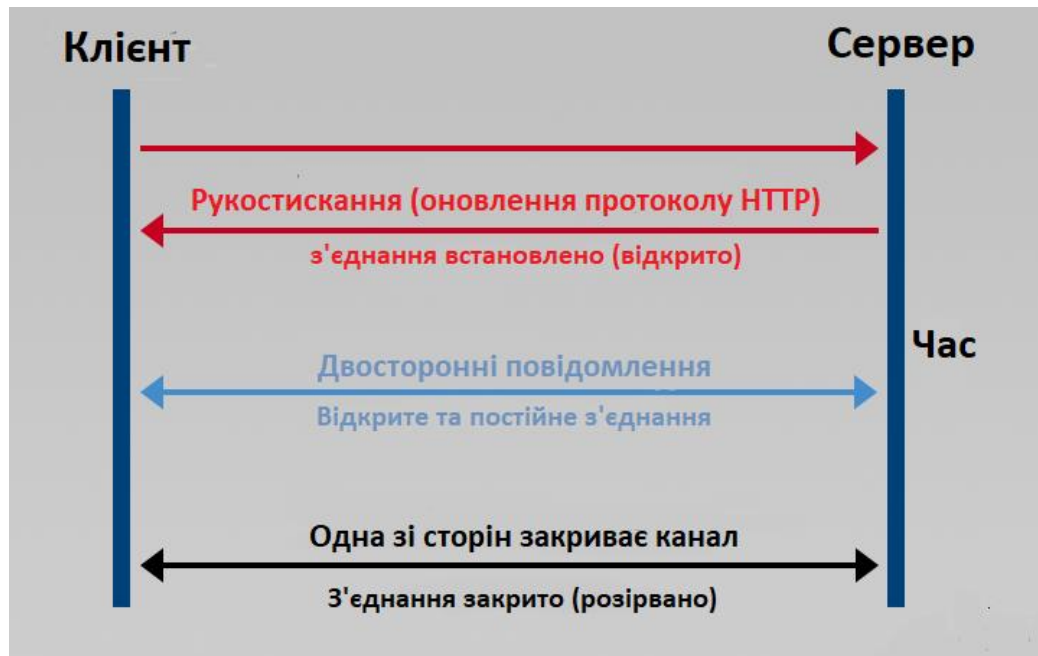


Рисунок 2.9 – Життєвий цикл WebSocket-з'єднання в інтелектуальній системі

Як основну систему управління базами даних (СУБД) обрано MongoDB. Це NoSQL-рішення ідеально відповідає специфіці туристичної системи, де дані про об'єкти (локації, готелі, пам'ятки) часто мають неструктурований характер і можуть змінюватися. Документ-орієнтована модель дозволяє зберігати результати генерації ШІ у вигляді складних вкладених об'єктів без необхідності виконання дорогих операцій Join, властивих реляційним базам. Для взаємодії з базою даних на рівні коду використано ORM-бібліотеку Mongoose, яка забезпечує строгу схематизацію даних та валідацію типів перед їх збереженням [41].

Центральним елементом системи є мовна модель Google Gemini 1.5 Flash, доступ до якої здійснюється через офіційний SDK. Вибір цієї моделі обґрунтований її унікальною здатністю обробляти до 1 мільйона токенів у вікні контексту. Це дозволяє системі передавати в ШІ повну історію розмови, детальні описи сотень локацій та технічні параметри бюджету одночасно. Використання моделі саме класу Flash забезпечує мінімальну затримку при генерації JSON-структур.

Для наповнення системи актуальною інформацією про туристичну інфраструктуру використано Overpass API (OpenStreetMap) [42]. Ця технологія дозволяє виконувати складні просторові запити на серверній стороні, фільтруючи об'єкти за категоріями (музеї, парки, готелі) в заданому радіусі від центрів кластерів. Для збагачення описів пам'яток інтегровано Wikipedia API, що дозволяє автоматично підтягувати історичні довідки та зображення, підвищуючи інформативність маршруту.

Всі HTTP-запити між фронтендом та бекендом здійснюються через бібліотеку Axios, яка забезпечує зручну обробку перехоплювачів для автоматичного додавання токенів безпеки в заголовки запитів. Як систему контролю версій використано Git, а для середовища розробки – Visual Studio Code із розширеннями для відладки асинхронного коду.

2.6 Висновки до другого розділу

У межах другого розділу було проведено комплексне теоретичне обґрунтування та розроблено архітектурний каркас інтелектуальної інформаційної системи для «розумного» туризму. Спроектowana клієнт-серверна модель у поєднанні з шаблоном MVC створює необхідні передумови для чіткого розподілу функціональних обов'язків між представленням даних, бізнес-логікою та персистентним сховищем. Таке архітектурне рішення дозволяє закласти фундамент масштабованої системи, здатної ефективно обробляти запити в гетерогенному середовищі та забезпечувати високу відмовостійкість за рахунок централізованого управління ресурсами.

Особлива увага була приділена проектуванню моделей подання туристичної інформації, де за основу взято документо-орієнтований підхід та формат JSON. Розроблені моделі локацій, маршрутів та користувацьких запитів реалізують принцип «схеми за запитом», що є критично важливим для інтеграції з генеративними моделями штучного інтелекту. Спроектowana структура даних дозволяє системі оперувати глибоким семантичним контекстом та забезпечує гнучкість при обробці неструктурованих відповідей від ШІ, трансформуючи їх у технічно валідні об'єкти без необхідності перебудови бази даних.

Математичне забезпечення системи було спроектовано на основі гібридного використання алгоритмів кластеризації k-means та DBSCAN. Визначений підхід дозволяє математично розв'язати задачу логістичної оптимізації шляхом групування локацій за географічною щільністю та семантичною близькістю. Спроектований механізм виявлення та відфільтровування «шумових» точок гарантує, що майбутня реалізація системи зможе формувати щільні та зручні туристичні хаби, мінімізуючи часові витрати туриста на переміщення та підвищуючи загальну ефективність маршруту.

У межах розділу також було детально спроектовано логіку роботи NLP-модуля на базі моделі Google Gemini 1.5 Flash. Визначено комплекс методів

промт-інжинірингу, включаючи Few-shot Prompting та JSON Output Steering, які призначені для подолання проблеми «галюцинацій» ШІ та забезпечення структурної цілісності даних [43]. Спроектований процес токенізації та механізми ітераційного уточнення дозволять у майбутньому реалізувати надійний когнітивний інтерфейс, здатний перетворювати абстрактні побажання користувача у детерміновані параметри для алгоритмів кластеризації.

Завершальним етапом проєктування стало обґрунтування вибору технологічного стеку MERN як найбільш оптимального інструменту для втілення розроблених моделей. Вибір React.js з механізмом Virtual DOM та протоколу WebSockets для реального часу було визначено як стратегічне рішення для забезпечення високої продуктивності та інтерактивності інтерфейсу. Таким чином, створена теоретична та методологічна база дозволяє перейти до етапу практичної програмної реалізації системи, маючи чітко визначені алгоритми, структури даних та архітектурні принципи взаємодії компонентів.

3. РОЗРОБКА, РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Проєктування програмної структури та бази даних

Ефективна реалізація інтелектуальної інформаційної системи вимагає побудови гнучкої програмної архітектури, яка здатна забезпечити надійне функціонування в умовах інтенсивної обробки неструктурованих даних та їхньої подальшої інтелектуальної трансформації. Програмна структура системи спроектована на основі багаторівневого підходу, де кожна ланка виконує строго визначений набір завдань, забезпечуючи повну декомпозицію логіки представлення, бізнес-обчислень та механізмів персистентного збереження знань [44]. Основний акцент при розробці програмного каркаса було зроблено на створенні інтелектуального контуру обробки, де серверна частина виступає не просто посередником між клієнтом і базою даних, а активним обчислювальним вузлом, що реалізує методи машинного навчання для верифікації та структурування інформації.

Програмна організація системи базується на модульній архітектурі, де центральним керуючим елементом є серверний додаток, який координує роботу асинхронних потоків даних. Точка входу в систему забезпечує ініціалізацію життєвого циклу всіх підсистем, включаючи налаштування протоколів безпеки, керування сесіями користувачів та підключення до нереляційного сховища знань. Важливою частиною програмної структури є рівень проміжних програмних шарів, які здійснюють попередню обробку запитів, виконуючи функції валідації токенів доступу та розмежування прав між звичайними туристами та організаторами подорожей. Це дозволяє підтримувати високу цілісність системи та гарантувати, що інтелектуальні ресурси будуть доступні лише автентифікованим користувачам.

Функціональна логіка системи розподілена між спеціалізованими маршрутизаторами, які інкапсулюють операції з конкретними сутностями

предметної області. Модуль управління подорожами реалізує складний програмний конвеєр, який охоплює всі етапи роботи з туристичними планами – від їх ініціації до фінального збереження [45]. Окремі програмні модулі присвячені управлінню груповими бронюваннями та комунікаційним процесам, що реалізується через інтеграцію сокет-з'єднань для забезпечення миттєвого обміну повідомленнями та оновлення статусів у реальному часі. Така програмна структура забезпечує високу масштабованість, дозволяючи додавати нові аналітичні блоки без необхідності перепроєктування всієї системи.

Критично важливим аспектом програмної структури є інтелектуальний шлях проходження даних від генеративної моделі Gemini до фізичного рівня бази даних. Отримання «сирої» відповіді від штучного інтелекту є лише першим кроком у процесі формування подорожі. Перед тим, як інформація буде записана в колекцію MongoDB, програмний модуль здійснює її глибоку аналітичну обробку за допомогою методів машинного навчання. На цьому етапі реалізовано алгоритмічний фільтр, що базується на принципах методу DBSCAN, який аналізує географічні координати всіх запропонованих об'єктів. Система автоматично ідентифікує та відсікає логістичні «шуми» – точки, що знаходяться поза межами щільної туристичної забудови або на аномально великій відстані від обраного центру подорожі, що гарантує цілісність та практичну реалістичність маршруту.

Паралельно з фільтрацією шумів програмний контур реалізує логіку кластеризації за методологією K-means. На основі вхідних параметрів бюджету, типу подорожі та інтересів користувача, система розподіляє відфільтровані локації за логічними групами, які згодом трансформуються в оптимізований графік поїздки по днях. Тільки після завершення цього ітераційного процесу математичної оптимізації, коли дані стають структурованими та верифікованими, вони передаються на серверний маршрут для персистентного збереження. Для візуалізації цієї високорівневої логіки взаємозв'язків та етапів проходження інформації була розроблена концептуальна діаграма бази даних, яка демонструє інтелектуальний контур системи.

Наступним завданням стало формування концептуальної моделі бази даних, яка б відображала семантику предметної області та враховувала специфіку обробки даних методами машинного навчання [46]. На лістингу 3.1 наведено реалізацію серверного маршруту, який приймає верифіковані та структуровані дані подорожі від інтелектуального модуля і здійснює їх збереження у колекції MongoDB.

Лістинг 3.1 – Серверний маршрут збереження верифікованої подорожі в базу даних

```
router.post("/", verifyToken, async (req, res) => {
  try {
    const { tripData, destination, duration, budget,
capacity, price, requestOrganiser, startDate, endDate } = req.body;

    const newTrip = new Trip({
      userId: req.user.id,
      tripData,
      destination,
      duration,
      budget,
      capacity: capacity || 10,
      price,
      status: "approved", // Auto-approve as Admin is
removed
      isPublic: req.body.isPublic !== undefined ?
req.body.isPublic : true,
      requestOrganiser: requestOrganiser || false,
      startDate,
      endDate
    });

    const savedTrip = await newTrip.save();
    res.status(201).json(savedTrip);
  } catch (err) {
    res.status(500).json({ error: err.message });
  }
});
```

Процес концептуального проектування розпочався з ідентифікації основних сутностей, що складають основу інтелектуальної туристичної екосистеми. Було виділено п'ять базових класів об'єктів: «Користувач», «Подорож», «Бронювання»,

«Повідомлення» та «Сповідання». Кожна з цих сутностей виконує роль інформаційного вузла, навколо якого групується специфічний набір атрибутів. Сутність «Користувач» уособлює суб'єкта системи, «Подорож» є центральним об'єктом, що містить результати планування, а «Бронювання» виступає сполучною ланкою, що фіксує взаємодію мандрівників із маршрутами.

Наступним кроком стало встановлення логічних зв'язків між виділеними сутностями, що дозволило визначити кардинальність взаємодій та напрямки інформаційних потоків. Було встановлено кардинальність типу «один-до-багатьох» (1:N) між сутностями «Користувач» та «Подорож», оскільки один автор може ініціювати створення необмеженої кількості маршрутів, проте кожна конкретна поїздка закріплена за одним власником. Взаємодія між туристами та планами подорожей реалізована через сутність «Бронювання», що технічно втілює кардинальність «один-до-багатьох» (1:N). Комунікаційні сутності «Повідомлення» та «Сповідання» також пов'язані з користувачами та подорожами за ієрархічним принципом, що забезпечує контекстну ізоляцію чатів та адресність системних повідомлень.

Після визначення структури зв'язків було проведено детальне встановлення множини атрибутів для кожної сутності. Для сутності «Подорож» ключовим атрибутом став об'єкт `tripData`, який вміщує в себе весь структурований результат роботи алгоритмів кластеризації та фільтрації шумів. Також до цієї множини увійшли дескриптори бюджету, тривалості, місткості групи та цінкових показників. Сутність «Користувач» характеризується атрибутами автентифікації, рольового доступу та статусу верифікації організатора. Для зв'язку «Бронювання» було визначено атрибути стану транзакції та деталей розміщення, що дозволяє відстежувати життєвий цикл запиту від подання до схвалення.

Визначення доменів атрибутів для кожного типу сутностей дозволило суворо типізувати дані та підготувати їх до програмної реалізації. Для текстових атрибутів, таких як імена користувачів, електронні адреси та destinations, було визначено рядкові домени з обмеженнями на довжину та формат. Числові домени

застосовано для атрибутів ціни, тривалості та кількості учасників. Особливе місце займає домен об'єктного типу для поля `tripData`, який є напівструктурованим сховищем BSON-документів, що відображають ієрархію маршруту за днями та локаціями. Домени статусних полів (ролі користувачів, статуси бронювань) визначені як переліки, що гарантує валідність даних на рівні схеми.

Завершальним етапом концептуального моделювання стало визначення ключів, що забезпечують унікальність записів та посиальну цілісність бази даних. Для кожної сутності встановлено первинний ключ, роль якого виконує ідентифікатор `id`, що є стандартом для обраної нереляційної моделі. Для підтримки встановлених зв'язків визначено множину зовнішніх ключів. Наприклад, у сутності «Подорож» зовнішнім ключем є `userId`, що вказує на власника документа в колекції користувачів. Аналогічно, у моделях повідомлень та бронювань використовуються посилання `tripId` та `userId`, які забезпечують швидку навігацію між пов'язаними об'єктами та дозволяють виконувати складні запити на вибірку даних.

Описана концептуальна модель, яка включає сукупність сутностей, їхніх атрибутів, доменів та ключів, становить фундамент інформаційної архітектури системи. Вона дозволяє не лише ефективно зберігати результати роботи інтелектуальних модулів, а й підтримувати високий рівень цілісності даних при виконанні каскадних операцій та груповій взаємодії користувачів у реальному часі. Ця модель стала базою для розробки фізичної схеми бази даних та написання серверних контролерів, що забезпечують життєвий цикл туристичних маршрутів.

На основі визначених раніше сутностей, атрибутів та зв'язків сформовано графічну ER-модель. На рисунку 3.1 показано побудову концептуальної діаграми.

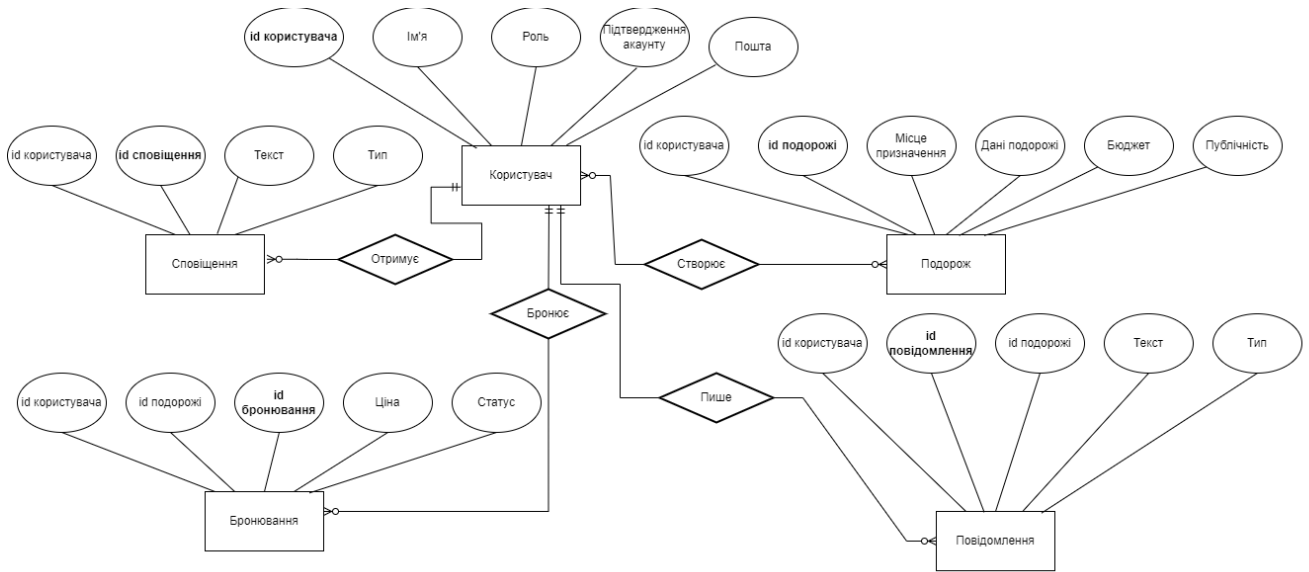


Рисунок 3.1 – Концептуальна діаграма бази даних

На наступному етапі проєктування розроблену концептуальну модель було перетворено на реляційну схему бази даних. На рисунку 3.2 наведено побудовану логічну модель із зазначенням таблиць та відповідних ключів.

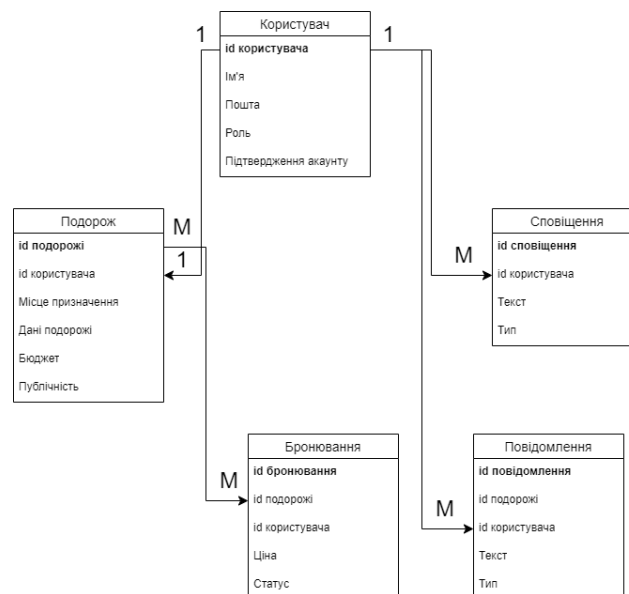


Рисунок 3.2 – ER-діаграма

Логічне завершення проєктування структури бази даних та програмного каркасу дозволило створити цілісне середовище для впровадження методів

машинного навчання. Завдяки чітко визначеним доменам атрибутів та механізмам посилювальної цілісності, система забезпечує високу швидкість запитів при формуванні списків подорожей та стабільну роботу групових чатів у реальному часі. Проєктування бази даних у зв'язці з алгоритмами попередньої обробки інформації створює надійний фундамент для функціонування інтелектуальних модулів, гарантуючи, що кожен збережений байт даних відповідає вимогам логістичної точності та персоналізації, закладеним у концепцію «розумного» туризму.

3.2 Реалізація інтелектуальних модулів системи

Реалізація інтелектуальних модулів у системі становить основу її архітектурної та функціональної цінності. Основне завдання цього рівня полягає у трансформації неструктурованих запитів користувача у логістично обґрунтований, фінансово збалансований та структурований туристичний план. Програмна реалізація інтелектуального контуру виконує роль оркестратора між генеративною моделлю штучного інтелекту, сервісами геопросторових даних та детермінованими алгоритмами машинного навчання.

Архітектурно інтелектуальний контур системи поділяється на три взаємопов'язані модулі: модуль генерації та самокорекції, модуль просторової фільтрації та модуль багатовимірної кластеризації. Модуль генерації відповідає за формування семантично правильного контексту (промпту) та взаємодію з великою мовною моделлю Gemini 1.5 Flash. Оскільки генеративні моделі мають стохастичну природу і схильні до порушення структури вихідних даних, цей модуль оснащений парсером, який валідує отриманий результат на відповідність затвердженій схемі бази даних.

Модуль просторової фільтрації вступає в дію після отримання синтаксично правильного масиву локацій. Його головна функція – боротьба з «галюцинаціями» штучного інтелекту, тобто ситуаціями, коли модель генерує неіснуючі об'єкти або

вказує локації, що знаходяться поза межами логістичної доступності. Цей модуль звертається до геоінформаційних сервісів для отримання реальних координат кожної точки, після чого застосовує алгоритм просторової кластеризації з шумом. Всі об'єкти, які не потрапляють у зону високої щільності основної дестинації подорожі, маркуються як аномалії та автоматично вилучаються з маршруту.

Модуль багатовимірної кластеризації та оптимізації відповідає за фінальне формування днів подорожі. Замість класичного двовимірного просторового групування, алгоритм K-means у системі працює з розширеним набором параметрів. Для кожної локації формується вектор ознак, який включає її географічні координати, індекс вартості (цінове навантаження) та категоріальну вагу (тип активності, наприклад, культура або гастрономія). Це дозволяє згрупувати точки так, щоб кожен день був не лише компактним територіально, а й збалансованим за бюджетом та тематикою. Після кластеризації застосовується метод найближчого сусіда для оптимізації послідовності відвідування локацій всередині кожного дня. Лістинг реалізації алгоритму K-means представлено в додатку В.

Для формалізації описаної логіки переходів, що включає багаторівневу машинну верифікацію та цикли обробки виняткових ситуацій, було розроблено відповідну візуальну модель [47]. Діаграму діяльності інтелектуального модуля подано на рисунку 3.3.

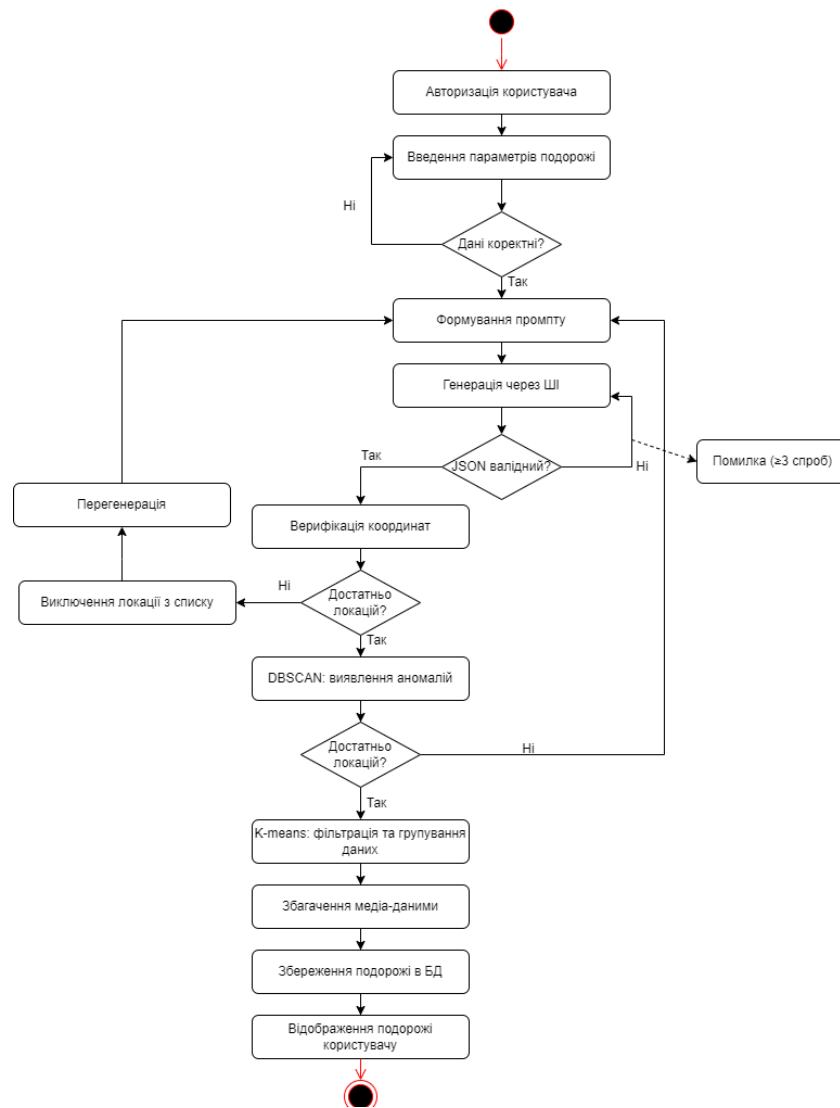


Рисунок 3.3 – Діаграма діяльності

Алгоритмічний процес розпочинається з авторизації користувача та введення базових параметрів подорожі (місто, бюджет, інтереси тощо). Після базової перевірки на коректність введених даних система переходить до етапу взаємодії зі штучним інтелектом.

Програмний модуль формує спеціальний промπτ і відправляє його до генеративної моделі ШІ. Оскільки відповідь від моделі може бути нестабільною, першим критичним вузлом перевірки є блок «JSON валідний?». Якщо ШІ повертає пошкоджену структуру даних, система автоматично робить повторні

спроби. Якщо ж ліміт спроб (більше трьох) вичерпано, процес зупиняється з виведенням помилки, що запобігає зависанню програми.

Якщо структура даних коректна, система переходить до етапу просторової верифікації. Отримані від ШІ локації перевіряються через зовнішні сервіси на наявність реальних координат. На цьому етапі реалізовано важливий цикл самокорекції: якщо після перевірки виявляється, що валідних локацій недостатньо, система виключає проблемні точки зі списку, ініціює регенерацію та знову звертається до ШІ за додатковими варіантами.

Після успішної перевірки координат до роботи підключаються алгоритми машинного навчання. Спочатку застосовується алгоритм DBSCAN, який виявляє географічні аномалії – локації, що знаходяться занадто далеко від основного маршруту. Після видалення цих «шумів» система знову перевіряє, чи достатньо локацій залишилося для повноцінної подорожі. Якщо ні – алгоритм повертається на самий початок до етапу формування нового промпту. Лістинг реалізації алгоритму DBSCAN представлено в додатку Д.

Якщо точок достатньо, масив даних передається до алгоритму K-means, який відповідає за фінальну фільтрацію та зручне групування локацій (наприклад, розбиття маршруту по днях).

На завершальному етапі вже сформований та логістично вивірений план подорожі збагачується медіа-даними (фотографіями, описами), після чого об'єкт подорожі зберігається в базі даних і відображається в інтерфейсі користувача.

Окрім розуміння послідовності дій алгоритму, для повної архітектурної документації системи необхідно змоделювати динаміку зміни станів головного інформаційного об'єкта – «Подорожі». Якщо діаграма діяльності показує потоки управління, то діаграма станів ілюструє життєвий цикл об'єкта: від моменту його створення до переходу в історію. Це моделювання є критично важливим, оскільки воно визначає, як система реагує на внутрішні події, зовнішні тригери та виняткові ситуації [48]. Діаграму станів об'єкта подорожі під час його обробки інтелектуальним модулем наведено на рисунку 3.4.

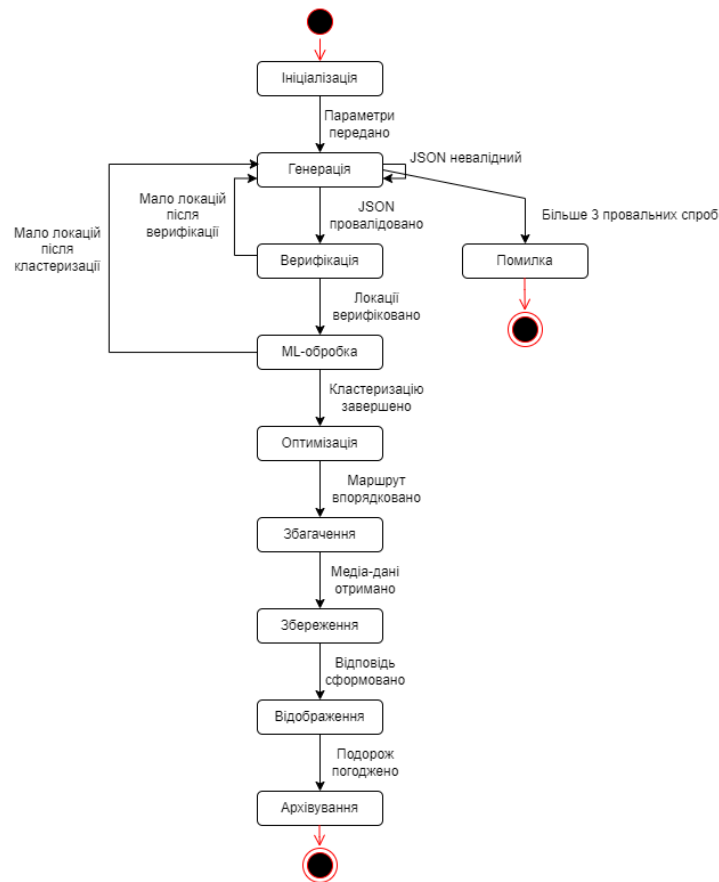


Рисунок 3.4 – Діаграма станів

Життєвий цикл об'єкта розпочинається з базового стану «Очікування». Перехід до активної фази «Ініціалізація» відбувається за умови отримання тригера від клієнтського інтерфейсу – запиту користувача зі вказаними параметрами. Після підготовки даних об'єкт переходить до стану «Генерація», де відбувається безпосередня взаємодія з мовною моделлю штучного інтелекту.

Особливістю розробленої моделі є наявність розгалуженої системи захисних циклів, які відображені зворотними стрілками. Перебуваючи у станах «Верифікація» (перевірка координат через Geo API) або «ML-обробка» (фільтрація аномалій через DBSCAN), об'єкт може повернутися до стану генерації, якщо система виявляє дефіцит валідних точок. Також передбачено самостійний цикл на етапі генерації у випадку отримання невалідного JSON. Для захисту від нескінченних циклів впроваджено сторожову умову: якщо кількість спроб

регенерації досягає трьох, об'єкт примусово переводиться у термінальний стан «Помилка», що дозволяє звільнити ресурси сервера.

При успішному проходженні всіх етапів інтелектуальної обробки та достатній кількості точок, об'єкт послідовно змінює стани: проходить кластеризацію, переходить у стан «Збагачення» (отримання фотографій та описів) і досягає стану «Збереження», де фіксується у базі даних.

Завершується життєвий цикл станами, пов'язаними з клієнтським досвідом. Стан «Відображення» означає, що користувач активно переглядає та взаємодіє з готовим маршрутом. Після закриття сесії об'єкт переходить у фінальний стан «Архівування». Цей статус означає, що маршрут збережено в історії профілю для подальшого перегляду, проте він більше не підлягає змінам з боку інтелектуального модуля.

Реалізація описаного інтелектуального контуру перетворює систему з базового агрегатора API на повноцінного цифрового помічника. За рахунок синергії креативності мовних моделей та математичної точності машинного навчання вдалося повністю нейтралізувати головну слабкість ШІ – схильність до просторових «галюцинацій». Вбудовані механізми самокорекції роблять процес обробки даних автономним і захищеним від збоїв. Зрештою, це дозволяє системі формувати не просто хаотичний перелік цікавих місць, а цілісний, логістично вивірений та фінансово збалансований туристичний продукт, готовий до використання мандрівником.

3.3 Розробка користувацького інтерфейсу та сценаріїв використання

Формалізація алгоритмічної бази та динаміки станів об'єктів, проведена у попередніх етапах дослідження, дозволяє перейти до проектування функціональних меж системи. Якщо діаграми діяльності та станів розкривали внутрішню логіку роботи інтелектуальних модулів, то розробка сценаріїв використання має на меті визначити, яким чином різні категорії акторів ініціюють

ці процеси. Це етап переходу від системних алгоритмів до користувацького досвіду, де визначається архітектура взаємодії та функціональний об'єм майбутнього інтерфейсу. Першочерговим завданням у цьому контексті є чітка ідентифікація всіх дійових осіб, які будуть задіяні у життєвому циклі туристичного продукту, оскільки саме їхні потреби та права доступу формують структуру навігації та набір доступних інструментів. На рисунку 3.5 представлено акторів, що складають основу архітектурної моделі взаємодії.



Рисунок 3.5 – Представлення акторів системи

Найбільш активним та пріоритетним учасником системи є Користувач. Саме під його потреби проектується основна частина інтерфейсу, адже головна цінність продукту полягає у спрощенні процесу планування дозвілля. Для цього актора розробляється набір сценаріїв, що охоплюють повний цикл роботи з маршрутом – від моменту виникнення ідеї до архівування готової подорожі. Важливо, щоб кожен крок був інтуїтивно зрозумілим, а складні математичні розрахунки та запити до неймереж залишалися прихованими за лаконічними елементами управління. На рисунку 3.6 зображено деталізацію сценаріїв використання, які доступні звичайному користувачу, відображаючи логічні зв'язки між його діями та системними реакціями.



Рисунок 3.6 – Діаграма варіантів використання для актора «Користувач»

Опис представленої діаграми дозволяє зрозуміти, що центральним прецедентом для мандрівника є генерація маршруту. Цей процес не є лінійним, оскільки він обов'язково включає етап введення параметрів, без якого інтелектуальний модуль не зможе сформувати релевантний контекст. Зв'язок типу «включає» тут підкреслює, що валідація вхідних даних – локації, бюджету та тривалості – є невід'ємною частиною процесу створення подорожі. Крім того, передбачено сценарій перегляду історії, що дозволяє користувачу повертатися до раніше створених планів. Важливим аспектом є можливість збереження маршруту, яка реалізована через зв'язок «розширює». Це означає, що збереження є опціональним кроком: користувач може просто ознайомитися з пропозиціями системи і, лише у разі повної задоволеності результатом, зафіксувати їх у своїй базі даних. Така логіка запобігає засміченню профілю невдалими або тестовими генераціями.

Поряд із мандрівником у системі функціонує Адміністратор, чия роль зосереджена на забезпеченні безпеки та цілісності інформаційного середовища. Його сценарії використання охоплюють управління глобальним станом бази даних та модерацію облікових записів, що є критично важливим для стабільності

платформ із генеративним компонентом. Пряма взаємодія адміністратора з рівнем збереження даних дозволяє здійснювати операційне втручання у випадках, коли автоматизовані цикли самокорекції не можуть однозначно усунути аномалії або коли виникає потреба в ручному регулюванні прав доступу. На рисунку 3.7 наведено діаграму прецедентів для адміністративної ролі, що ілюструє привілейовані можливості доступу.



Рисунок 3.7 – Діаграма варіантів використання для актора «Адміністратор»

Аналізуючи діаграму адміністратора, можна помітити, що його функціонал спрямований на глобальне управління об'єктами системи. Зокрема, прецедент модератції маршрутів надає йому право видаляти будь-які записи, що порушують правила платформи або містять технічні помилки. Це забезпечує стабільність роботи додатку для всіх інших учасників. Крім того, адміністратор відповідає за схвалення нових реєстрацій, особливо коли йдеться про ролі з розширеними правами, як-от організатори турів. Такий підхід відповідає концепції безпеки, де кожна дія має бути санкціонована відповідно до рівня доступу. Адміністратор діє як наглядач, що гарантує відповідність системи технічним та етичним стандартам.

Окреме місце в архітектурі займає системний актор – Модуль штучного інтелекту. ШІ є активним генератором даних, який обслуговує запити користувачів у режимі реального часу. Його роль полягає у виконанні когнітивно складних завдань, які неможливо вирішити за допомогою стандартних алгоритмів пошуку в базі даних. Взаємодія з цим актором вимагає особливого підходу до

моделювання, оскільки система має не просто отримувати відповідь, а й контролювати її формат та валідність. На рисунку 3.8 наведено діаграму прецедентів для ролі штучного інтелекту.

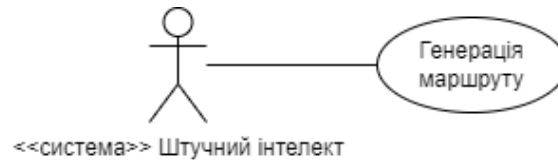


Рисунок 3.8 – Діаграма варіантів використання для актора «Штучний інтелект»

Представлена діаграма взаємодії з ШІ ілюструє, як інтелектуальний модуль обслуговує прецедент генерації. Важливо розуміти, що ШІ виступає вторинним актором, який реагує на запити, сформовані ядром системи. Він виконує роль обробника природної мови, трансформуючи побажання мандрівника у структурований JSON-код. Система збирає дані, передає їх ШІ, отримує результат і проводить його подальшу математичну обробку. Це дозволяє розділити відповідальність між креативною частиною, яку виконує ШІ, та логічною частиною, за яку відповідають внутрішні алгоритми системи.

Завершальним етапом моделювання є поєднання всіх ідентифікованих акторів та їхніх прецедентів у єдину цілісну структуру [49]. Якщо попередні схеми фокусувалися на локальних завданнях кожного актора, то загальна діаграма варіантів використання дозволяє побачити систему як цілісний сервіс, де чітко визначені межі між діями користувача та автоматизованими відповідями системи. На фінальній діаграмі представлено повний спектр взаємодій, що формують логічну базу для подальшої розробки програмного коду та дизайну інтерфейсу.

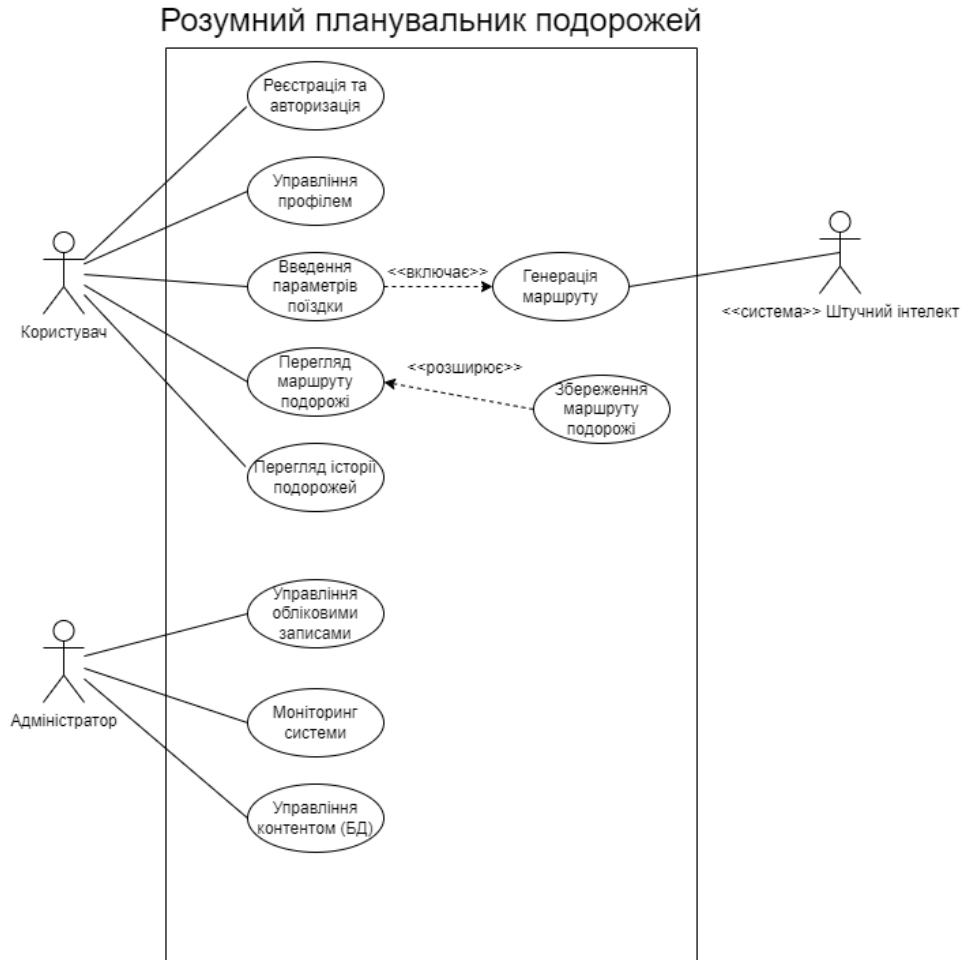


Рисунок 3.9 – Загальна діаграма варіантів використання

Після детального опрацювання внутрішньої архітектури системи, проектування бази даних та побудови діаграм, що описують логіку роботи додатка, фокус розробки логічно зміщується на клієнтську частину. Хоча потужний серверний функціонал та алгоритми штучного інтелекту є технічним ядром платформи, для кінцевого користувача визначальним фактором залишається зручність та естетика візуального інтерфейсу. Візуальна оболонка проекту створювалася з урахуванням сучасних UI/UX стандартів, з акцентом на мінімалізм, темну тему та інтуїтивну зрозумілість навігації.

Знайомство з платформою починається з базової точки входу – головної сторінки, яка поєднує в собі інформаційну панель та екран реєстрації чи авторизації. Саме цей інтерфейс формує перше враження про систему,

пропонуючи швидкий вибір ролі користувача та візуально налаштовуючи його на планування майбутніх подорожей. Інтерфейс головної сторінки зображено на рисунку 3.10.

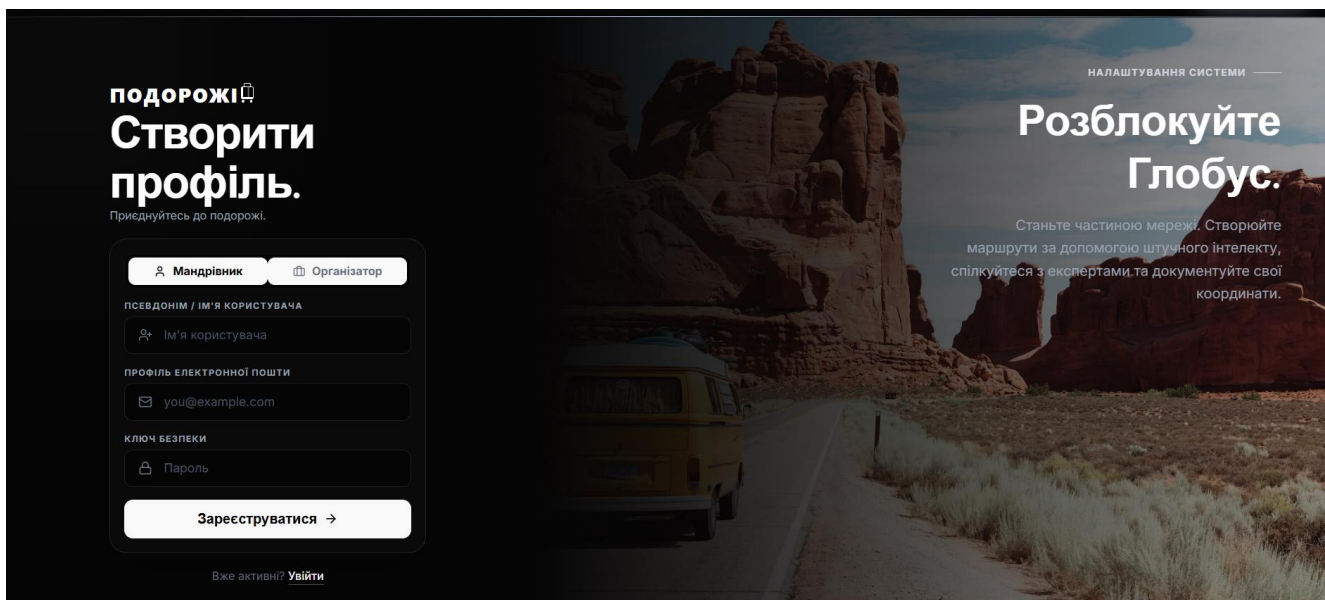


Рисунок 3.10 – Інтерфейс головної сторінки

Після успішної авторизації користувач отримує доступ до ключового функціоналу платформи – модуля інтелектуального планування маршрутів. Цей розділ є ядром системи, оскільки саме тут відбувається збір вхідних параметрів для подальшої обробки алгоритмами штучного інтелекту та машинного навчання. При розробці було застосовано методологію «Mobile First» та компонентно-орієнтований підхід, що дозволило створити універсальні модулі для введення даних, які масштабуються під різні типи пристроїв. Логіка побудови сторінки базується на принципах мінімізації «когнітивного тертя»: користувач проводить через процес конфігурації поїздки від найпростіших кроків (назва міста) до більш специфічних (бюджет та інтереси). Інтерфейс сторінки генерації поїздки, розроблений з акцентом на покрокове та безбар'єрне введення даних, наочно подано на рисунку 3.11.

Сплануй подорож мрії за секунди.

Вкажіть побажання, а AI створить маршрут саме для вас.

• **КУДИ ВИ ЇДЕТЕ?**

Знайти місце призначення...

• **ВВЕДІТЬ ВАШІ ПОБАЖАННЯ**

Спорт, гастрономія, музеї...

• **КОЛИ ВИ ЇДЕТЕ?**

ДАТА ПОЧАТКУ: ДД.ММ.РРРР | ДАТА ЗАВЕРШЕННЯ: ДД.ММ.РРРР

• **ЯКИЙ ВАШ БЮДЖЕТ?**

- БЮДЖЕТНИЙ**
Доступні варіанти для економічних мандрівників.
- СТАНДАРТ**
Оптимальний баланс комфорту та ціни.
- ЛЮКС**
Преміальний відпочинок із найкращими зручностями.

• **ХТО ПОДОРОЖУЄ?**

- ЛИШЕ Я
- ПАРА
- СІМ'Я
- ДРУЗІ
- СПІЛЬНОТА

ПІДСУМОК ПОДОРОЖІ

ПРЯМОК: Напрямок не показано

ТРІВАЛІСТЬ: --- | ГРУПА: ---

СТВОРИТИ ПОДОРОЖ →

СИСТЕМА ГОТОВА

Рисунок 3.11 – Інтерфейс для збору даних подорожі

Після завершення активної фази обчислень, під час якої було застосовано комплекс методів машинного навчання, система переходить до формування персоналізованої сторінки подорожі. На цьому етапі результати роботи алгоритму кластеризації, що згрупував локації за різними параметрами, та висновки нейромережевої моделі, яка провела семантичний аналіз уподобань користувача, інтегруються з даними, отриманими через агрегацію зовнішніх API. Перехід до результатів генерації супроводжується динамічним оновленням інтерфейсу, де з'являється структурований звіт. Першим рівнем ознайомлення з маршрутом є

інформаційна панель заголовка, яка виконує роль резюме всієї подорожі. Візуальне представлення верхньої частини сторінки результатів наочно продемонстровано на рисунку 3.12.

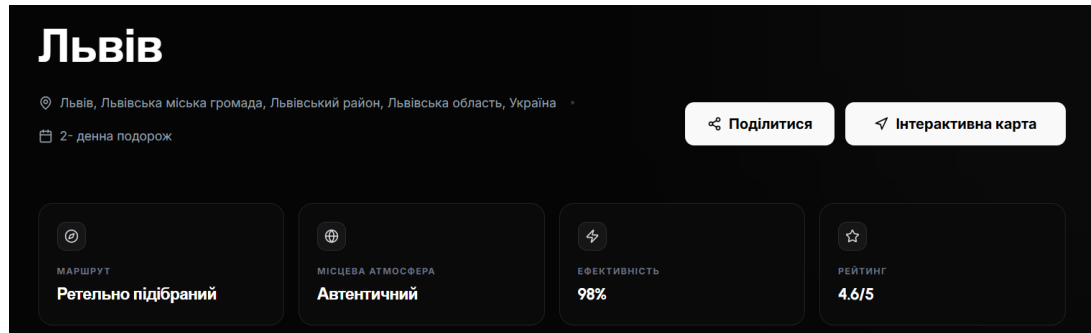


Рисунок 3.12 – Заголовок сторінки персоналізованого маршруту

Паралельно з аналітичними показниками заголовка, система формує допоміжну бокову панель підсумків, яка слугує інтегрованим фінансовим та логістичним орієнтиром для мандрівника. Цей блок виступає результатом роботи підсистеми предиктивної аналітики та моделей машинного навчання, що відповідають за розрахунок орієнтовної вартості подорожі на основі ринкових трендів та обраного рівня сервісу. Візуальне представлення бокової панелі підсумків згенерованої поїздки наведено на рисунку 3.13.

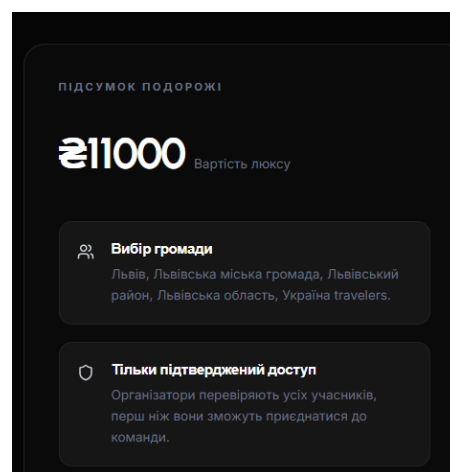


Рисунок 3.13 – Панель підсумкових показників

Наступним логічним етапом після ознайомлення із загальними параметрами подорожі є вибір місця проживання. Оскільки система базується на принципах індивідуалізації, вона пропонує найбільш релевантні варіанти. Опис інтерфейсу модуля вибору засобів розміщення представлено на рисунку 3.14.

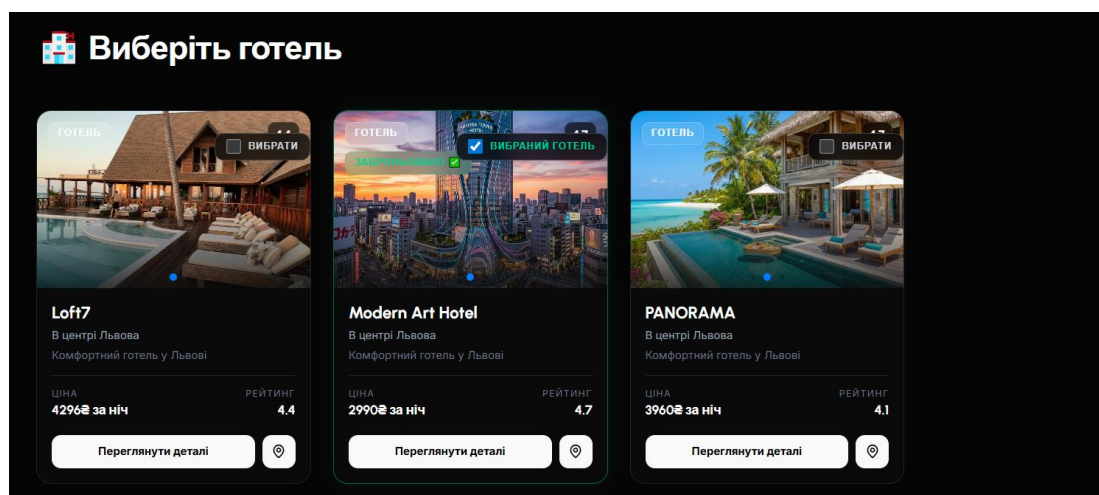


Рисунок 3.14 – Інтерфейс вибору готелів

Наступним фундаментальним етапом візуалізації результатів є представлення безпосередньої структури подорожі, розподіленої за часовими інтервалами. Оскільки інтелектуальна система оперує великим масивом локацій, критично важливим є їх логічне групування, що базується на методах машинного навчання для оптимізації часових та логістичних витрат. Опис інтерфейсу модуля щоденного планування маршруту, який є результатом декомпозиції загального плану подорожі, наведено на рисунку 3.15.

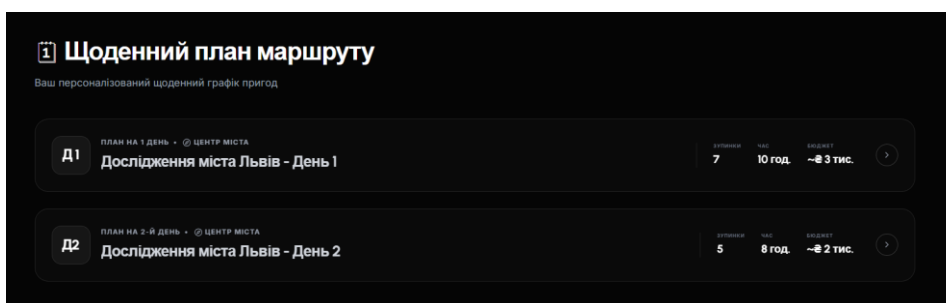


Рисунок 3.15 – Інтерфейс щоденного планування персоналізованого маршруту

Для остаточного представлення сформованого турпродукту система забезпечує можливість деталізації кожного дня подорожі до рівня конкретних погодинних активностей. Цей етап візуалізації є прямим результатом роботи алгоритмів оптимізації послідовності та часового планування, що дозволяють мінімізувати транзитні витрати між обраними точками інтересу. На рисунку 3.16 представлено інтерфейс деталізованого плану, який відображає фінальну логічну структуру денного циклу подорожі, де кожна локація інтегрована в єдину часову шкалу з чітко визначеними інтервалами відвідування.

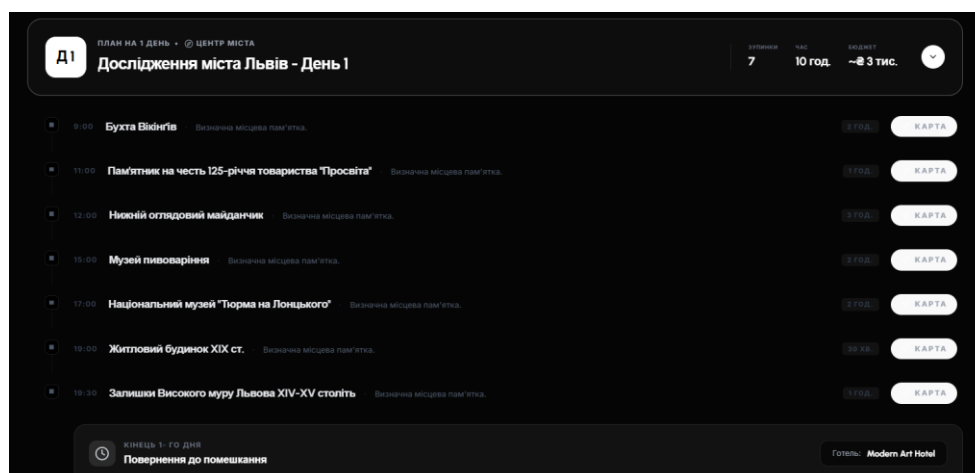


Рисунок 3.16 – Деталізований погодинний план денного маршруту

Наступним етапом взаємодії користувача з інтелектуальною системою є можливість збереження та подальшого керування сформованими маршрутами у персональному кабінеті. Це забезпечує цілісність користувацького досвіду, дозволяючи повертатися до результатів у будь-який зручний час без необхідності повторної генерації даних. На рисунку 3.17 представлено інтерфейс розділу «Мої заплановані подорожі», де реалізовано механізм архівації та візуалізації всіх успішно згенерованих турпродуктів у вигляді сітки інформаційних карток.

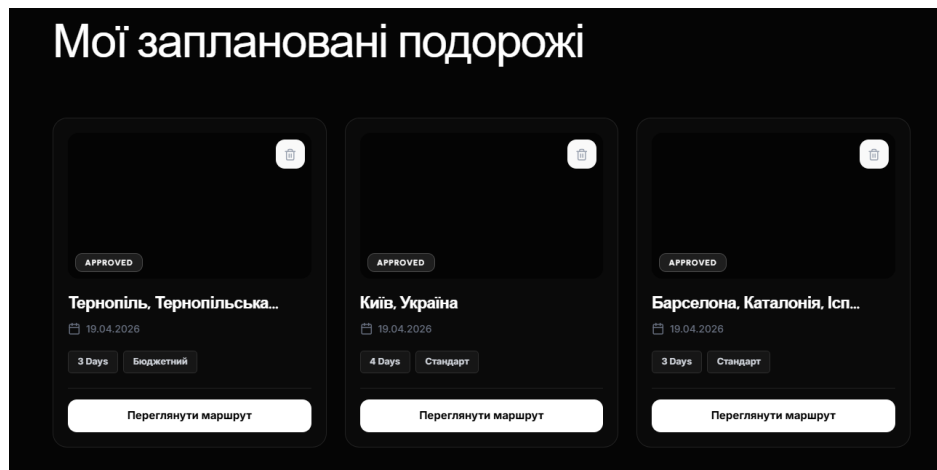


Рисунок 3.17 – Інтерфейс розділу керування запланованими подорожами

Важливим компонентом інтерфейсу, що розширює функціональні можливості системи, є модуль дослідження маршрутів спільноти. Це рішення базується на принципах колективної фільтрації, дозволяючи користувачам не лише створювати власні плани за допомогою ШІ, а й використовувати накопичений досвід інших мандрівників для пошуку оптимальних туристичних рішень. На рисунку 3.18 продемонстровано інтерфейс розділу «Дослідіть спільноту», де інтегровані інструменти пошуку та гнучкої фільтрації за бюджетом і тривалістю поїздки забезпечують швидкий доступ до глобальної бази публічних маршрутів.

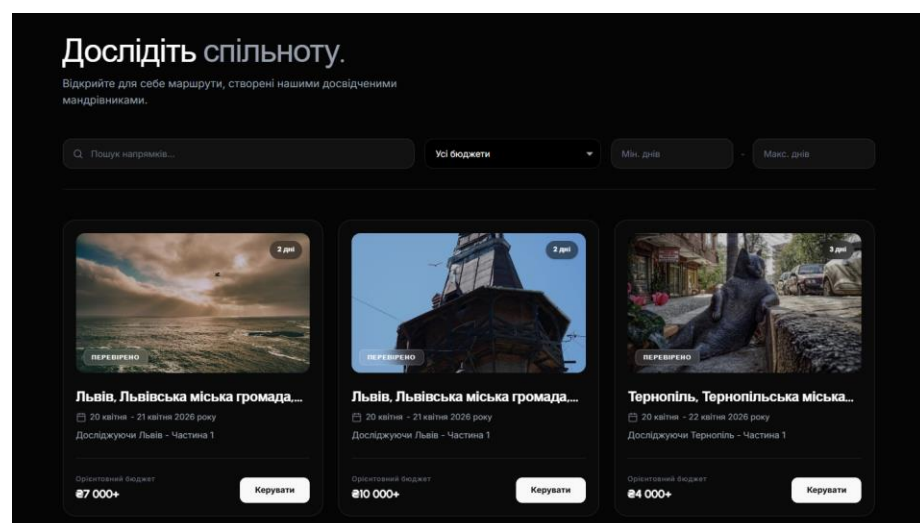


Рисунок 3.18 – Інтерфейс модуля дослідження та фільтрації маршрутів спільноти

Для забезпечення стабільної комунікації між користувачами та адміністрацією платформи, а також для надання технічної підтримки у разі виникнення питань щодо роботи інтелектуальних алгоритмів, у системі передбачено окремий модуль зворотного зв'язку. Цей інтерфейс виконує роль сполучної ланки, гарантуючи надійність функціонування інформаційної системи через можливість прямого звернення до фахівців. На рисунку 3.19 представлено сторінку «Зв'яжіться з нами», яка поєднує в собі інформаційні блоки з прямими контактними даними та інтерактивну форму для надсилання структурованих повідомлень.

Зв'яжіться з нами

Маєте запитання чи просто хочете привітатися? Ми будемо раді почути вас. Надішліть нам повідомлення або зв'яжіться з нами, використовуючи контактну інформацію нижче.

Напишіть нам
Наша дружня команда готова допомогти.
support@mail.com

Зателефонуйте нам
Пн-Пт з 8:00 до 17:00.
+38(098) 99-99-999

Офіс
Завітайте до нашого головного офісу.
вул. Руська м. Тернопіль

Надіслати повідомлення
Ми зв'яжемося з вами якомога швидше.

ІМ'Я ЕЛЕКТРОННА ПОШТА

ПОВІДОМЛЕННЯ

Надіслати повідомлення ↗

Рисунок 3.19 – Інтерфейс модуля зворотного зв'язку

Розроблена сукупність екранних форм та елементів управління формує цілісну візуальну оболонку системи для «розумного» туризму. Впровадження сучасних UI/UX паттернів у поєднанні з інтелектуальними модулями обробки

даних дозволило створити інструментарій, який мінімізує когнітивне навантаження на мандрівника в процесі планування складних подорожей.

3.4 Тестування та експериментальне дослідження роботи системи

Експериментальне дослідження розробленої інтелектуальної системи є критично важливим етапом, оскільки воно дозволяє підтвердити адекватність обраних методів аналізу даних та ефективність застосованих алгоритмів машинного навчання. На відміну від класичного тестування програмного забезпечення, де основна увага приділяється відсутності синтаксичних помилок, експериментальна частина даної роботи спрямована на верифікацію інтелектуального виходу системи – якості та логічності згенерованих туристичних маршрутів.

Основним завданням даного етапу є перевірка того, наскільки точно нейромережеві моделі та методи просторового аналізу інтерпретують нечіткі запити користувача та трансформують їх у структуровані дані. Для досягнення цієї мети було розроблено серію цільових сценаріїв (тест-кейсів), які охоплюють ключові аспекти функціонування системи: від семантичного розбору вхідних параметрів до предиктивного моделювання бюджету та оптимізації логістичних ланцюгів у графі.

Кожен тест-кейс спроектований таким чином, щоб протестувати конкретну математичну модель або метод, описаний у другому розділі роботи [50]. Зокрема, досліджується здатність системи до коректної кластеризації об'єктів за географічною ознакою та її стійкість до варіативності вхідних даних.

В таблиці 3.1 наведено деталізований опис тест-кейсів, що використовуються для верифікації функціональних вузлів системи, із зазначенням передумов, кроків виконання та очікуваних результатів, що базуються на вихідних даних моделей машинного навчання.

Таблиця 3.1 – Тест-кейси для верифікації методів аналізу даних та машинного навчання

№	Назва тест-кейсу	Передумови	Кроки виконання	Очікуваний результат
1	Семантичний аналіз нечіткого запиту	Система запущена. Користувач авторизований. Модель ШІ підключена.	1. Ввести запит: «тихий відпочинок для двох, цікавить архітектура та кава». 2. Запустити генерацію. 3. Переглянути сформований список	Система виділяє ключові інтенції із запиту, фільтрує нерелевантні категорії та повертає JSON.
2	Токенізація та дотримання схеми виходу	NLP-модуль активний. Few-shot приклади завантажені у векторне сховище.	1. Надіслати текстовий запит. 2. Перевірити кількість токенів у запиті. 3. Переконайтесь, що вихідний JSON містить усі обов'язкові ключі згідно зі схемою.	Запит коректно токенізовано. Вихідний об'єкт містить усі обов'язкові ключі.
3	Групування локацій за днями та видом дозвілля	Масив із 24 верифікованих туристичних об'єктів із категоріями	1. Передати масив об'єктів до модуля K-Means. 2. Задати кількість днів 3. Запустити алгоритм із вектором ознак. 4. Перевірити розподіл по кластерах.	Алгоритм формує кластери, кожен з яких відповідає одному дню подорожі та з однорідним типом дозвілля.
4	Просторова кластеризація та виявлення аномалій	Масив локацій містить 2 об'єкти на відстані понад 5 км від цільного туристичного ареалу.	1. Передати масив координат 2. Запустити сегментацію 3. Перевірити, чи віддалені об'єкти позначені як шум. 4. Переглянути фінальний список локацій.	Об'єкти поза межами цільного туристичного ареалу класифіковані як шум і виключені.
5	Оптимізація послідовності відвідування в межах просторового кластеру	Просторовий кластер одного дня сформований із 5 локацій з різним графіком.	1. Відкрити деталізований план дня. 2. Перевірити відповідність часу візиту робочим годинам кожної локації.	Усі локації вписані у межі робочого часу без конфліктів у розкладі.

6	Стійкість до «галюцинацій» ШІ	Система підключена до Overpass API та Wikipedia API. Запит – маршрут для маловідомого міста, де ШІ може генерувати неіснуючі місця.	1. Запустити генерацію маршруту. 2. Отримати відповідь від Gemini. 3. Верифікувати координати кожної локації через геосервіс.	Локації без підтверджених координат у OSM виключаються автоматично.
---	-------------------------------	---	---	---

У межах тестування системи «розумного» туризму було розроблено шість тест-кейсів, кожен із яких спрямований на верифікацію конкретного методу або модуля системи. Перші два тест-кейси перевіряють коректність роботи NLP-модуля: семантичний розбір нечіткого запиту природною мовою та відповідність вихідного об'єкта заданій JSON-схемі. Третій тест-кейс верифікує алгоритм K-Means, який відповідає за групування локацій за днями подорожі та видом дозвілля – культурою, гастрономією чи активним відпочинком, – з урахуванням цінового балансу між кластерами. Четвертий тест-кейс перевіряє алгоритм DBSCAN, що виконує просторову кластеризацію локацій за географічною близькістю та виявляє об'єкти, розташовані поза межами щільного туристичного ареалу. П'ятий тест-кейс спрямований на перевірку оптимізації послідовності відвідування в межах сформованого просторового кластеру. Шостий тест-кейс оцінює стійкість системи до «галюцинацій» генеративної моделі через механізм верифікації координат за допомогою зовнішніх геосервісів.

У процесі тестування було виявлено ряд дефектів, задокументованих у вигляді баг-репортів [51]. Більшість виявлених дефектів стосується граничних умов роботи алгоритмів машинного навчання: некоректна поведінка K-Means при недостатній кількості локацій, нестабільна просторова сегментація DBSCAN при специфічній геометрії об'єктів, всі три виявлені дефекти було усунуто в поточній версії системи. В таблиці 3.2 зображено баг-репорти системи.

Таблиця 3.2 – Баг-репорти за результатами тестування

№	Назва дефекту	Серйозність	Опис	Статус
1	Порожнє поле у відповіді Gemini з значенням «null»	Середня	При запиті маршруту для маловідомих міст модель інколи повертає об'єкти з null значенням у полі coords, що спричиняє помилку на етапі DBSCAN-фільтрації.	Виправлено
2	K-Means формує порожній кластер при малій кількості локацій	Середня	При кількості верифікованих локацій менше ніж $k \times 2$ алгоритм K-Means може сформувати один або більше порожніх кластерів, що призводить до неповного плану на відповідний день подорожі.	Виправлено
3	DBSCAN класифікує всі точки як шум при малому ϵ	Низька	У разі щільної міської забудови зі специфічною геометрією розташування об'єктів фіксоване значення $\epsilon = 1000$ м може бути занадто малим, внаслідок чого всі точки класифікуються як шум.	Виправлено

За результатами виявлення та усунення дефектів систему було доопрацьовано у трьох ключових напрямках. Дефект №1, пов'язаний із порожніми значеннями поля coords у відповіді Gemini, було усунуто шляхом додавання валідаційного фільтру на етапі парсингу JSON-відповіді: кожен об'єкт локації перевіряється на наявність і числовий тип координат перед передачею до модуля DBSCAN. Об'єкти, що не пройшли перевірку, автоматично виключаються, а система ініціює запит на повторну генерацію відповідної кількості локацій.

Дефект №2, при якому алгоритм K-Means формував порожні кластери у разі недостатньої кількості верифікованих локацій, було виправлено введенням попередньої перевірки: перед запуском алгоритму система порівнює кількість

доступних локацій із мінімально допустимим порогом $k \times 2$. У разі невідповідності генерація повторюється до досягнення необхідного обсягу даних, після чого кластеризація запускається із гарантовано заповненими групами.

Дефект №3, при якому алгоритм DBSCAN класифікував усі верифіковані локації як шум через недостатнє значення радіуса $\epsilon = 1000$ м, було виправлено шляхом збільшення цього параметра до оптимального рівня. Це дозволило алгоритму охоплювати ширшу область при пошуку сусідніх точок, що забезпечило стабільне формування територіальних кластерів та коректне відсікання лише реальних аномалій навіть у районах із низькою щільністю забудови.

3.5 Аналіз результатів та оцінка ефективності запропонованого рішення

Завершальним етапом дослідження є аналіз отриманих результатів та оцінка ефективності розробленого інтелектуального конвеєра. Метою цього підрозділу є підтвердження того, що поєднання великих мовних моделей із алгоритмами просторового аналізу та кластеризації дозволяє досягти вищої якості персоналізації порівняно з традиційними системами пошуку туристичних об'єктів.

З метою отримання статистично обґрунтованих показників ефективності інтелектуальна система була піддана серії з 50 незалежних генерацій туристичних маршрутів для міст різного масштабу та рівня представленості в геоінформаційних базах даних. Вибірка включала як туристично популярні міста з розвиненим покриттям OSM, так і менш відомі населені пункти, де якість геоданих є нижчою. Такий підхід дозволив отримати репрезентативні результати, що відображають реальний діапазон поведінки системи в різних умовах. Зведені метрики, розраховані на основі вибірки з 50 генерацій, наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведені метрики ефективності системи (вибірка: 50 генерацій)

Показник	Мін.	Макс.	Середнє	Коментар
Загальний час генерації маршруту, с	10,3	24,7	17,5	Час зростає при повторних зверненнях до Gemini у разі невалідного JSON або дефіциту локацій
Кількість локацій після верифікації OSM, шт.	9	17	13	Залежить від покриття OSM та популярності міста
Частка відфільтрованих аномалій DBSCAN, %	4	19	9,6	Вище для маловідомих міст із нерівномірною туристичною інфраструктурою
Кількість повторних звернень до Gemini за сесію	1	3	1,3	Більшість генерацій завершується з першої спроби; 3 спроби – крайній випадок
Тематична однорідність кластерів K-Means, %	81	97	91	Нижні значення – при широких запитах без чіткого виду дозвілля
Скорочення відстані пересування після оптимізації, %	18	38	27	Залежить від початкового розкиду локацій; ефект вищий при географічно розосереджених маршрутах
Успішність верифікації координат через OSM, %	63	81	72	Нижні значення зафіксовано для міст із населенням до 100 тис. осіб
Частка генерацій без повторних запитів, %	–	–	74	У 74% випадків із 50 система сформуvalа коректний маршрут з першої спроби

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що час генерації маршруту суттєво варіюється залежно від якості першої відповіді Gemini та рівня покриття OSM для обраного міста. Мінімальне значення 10,3 секунди зафіксовано для популярних міст, де модель повертає коректно структурований JSON з першої спроби, а більшість локацій успішно верифікується через геосервіс. Максимальне значення 24,7 секунди відповідає найбільш складним сценаріям, при яких система тричі зверталась до Gemini через невалідну структуру відповіді або критичний дефіцит верифікованих локацій. Графік розподілу часу генерації зображено на рисунку 3.20.

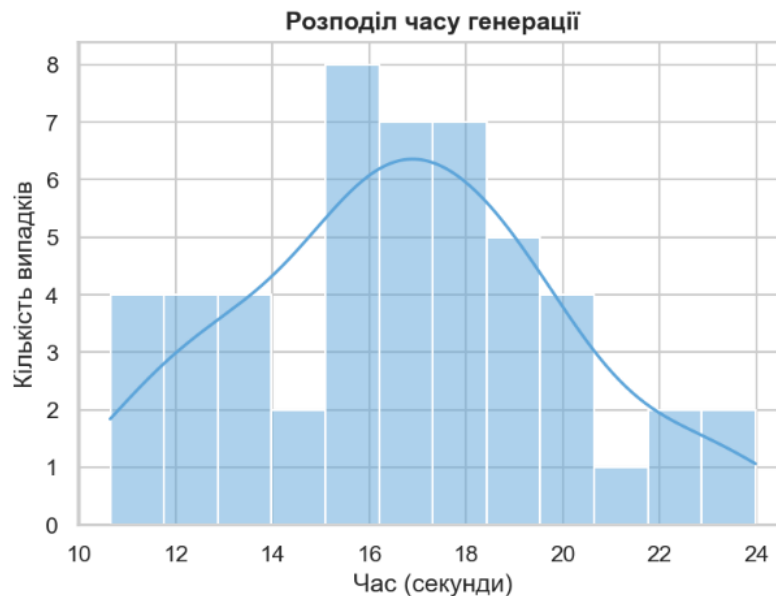


Рисунок 3.20 – Графік розподілу часу генерації

Показник тематичної однорідності кластерів K-Means на рівні 91% у середньому свідчить про те, що алгоритм коректно групує локації за видом дозвілля та ціновим навантаженням у переважній більшості сценаріїв. Нижня межа показника – 81% спостерігається при широких запитах без чіткого зазначення виду дозвілля, коли система змушена самостійно інтерпретувати загальні вподобання користувача. Скорочення відстані пересування після оптимізації послідовності в середньому складає 27%, що є суттєвим практичним

ефектом: мандрівник долає на чверть менший шлях між локаціями без будь-яких додаткових налаштувань. Розподіл метрик якості та оптимізації маршрутів зображено на рисунку 3.21.

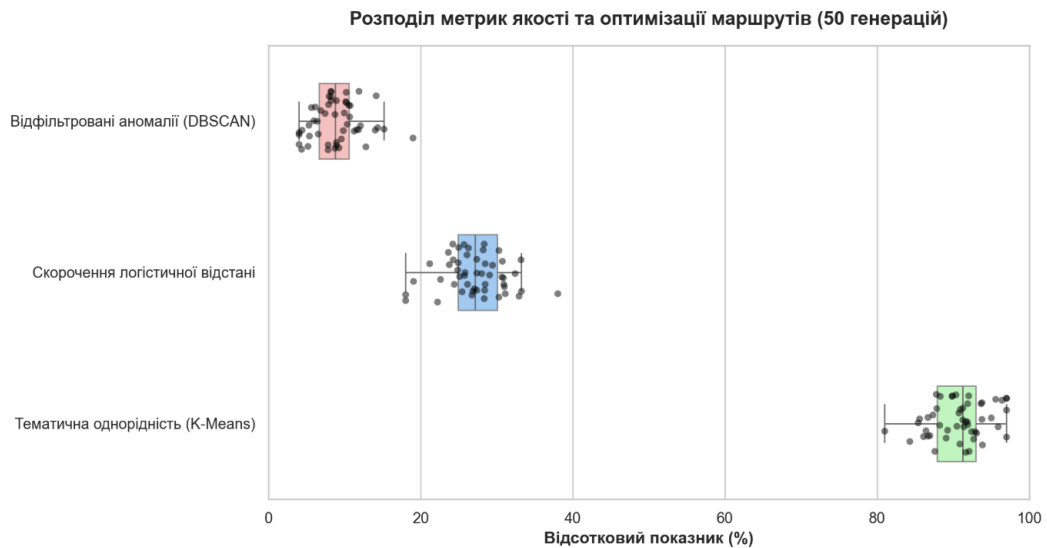


Рисунок 3.21 – Графік розподілу метрик якості

Важливим показником стабільності системи є розподіл генерацій за кількістю звернень до Gemini API. Ці дані безпосередньо відображають надійність механізмів промпт-інжинірингу та валідації вихідних даних. Відповідний розподіл наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розподіл генерацій за кількістю звернень до Gemini API

Кількість звернень до Gemini	Кількість генерацій	Частка, %	Причина повторного звернення
1	37	74	Коректна структура JSON, достатня кількість верифікованих локацій
2	9	18	Невалідний JSON або недостатня кількість локацій після DBSCAN-фільтрації
3	4	8	Комбінація невалідного JSON та дефіциту локацій, переважно для маловідомих міст

Як свідчать дані таблиці 3.4, у 74% випадків система сформувала повноцінний маршрут з першої спроби, що підтверджує ефективність застосованих технік Few-shot Prompting та JSON Output Steering для стабілізації формату відповіді моделі. Повторні звернення у 18% випадків зумовлені переважно недостатньою кількістю локацій після DBSCAN-фільтрації, а не структурними помилками JSON. Три звернення зафіксовано лише у 8% генерацій і є характерними виключно для маловідомих міст із низьким покриттям геоданих, що є об'єктивним зовнішнім обмеженням, а не вадю самої системи. Графік розподілу генерацій за кількістю звернень зображено на рисунку 3.22.

Стабільність формату JSON (Gemini API)



Рисунок 3.22 – Інтерфейс модуля зворотного зв'язку

Зіставлення отриманих результатів із функціональними вимогами, дозволяє констатувати їх повне виконання. Система реалізує формування персоналізованого профілю запиту на основі природномовного введення, інтегрується з геоінформаційними сервісами OSM та Wikipedia, будує оптимізовані маршрути з урахуванням просторових і часових параметрів, а також забезпечує адаптацію результатів через механізми ітераційного уточнення. Усі десять функціональних вимог підтверджені результатами тестування.

З точки зору нефункціональних вимог система демонструє прийнятну продуктивність: середній час відповіді 17,5 секунд є допустимим для задачі з генеративним компонентом і багаторівневою валідацією. Архітектура на базі Node.js із неблокуючою моделлю введення-виведення забезпечує стабільну роботу при паралельних запитах. Єдиним аспектом, що потребує подальшого доопрацювання, залишається точність верифікації для міст із низьким покриттям OSM – показник успішності верифікації знижується до 63% у найгірших сценаріях, що є напрямком для подальшого розвитку системи шляхом підключення додаткових джерел геоданих.

Таким чином, результати аналізу 50 генерацій підтверджують ефективність запропонованого рішення. Гібридний підхід, що поєднує генеративний штучний інтелект, алгоритми кластеризації K-Means і DBSCAN та методи промпт-інжинірингу, забезпечує стабільне формування персоналізованих туристичних маршрутів із прийнятними показниками часу відповіді, просторової точності та тематичної релевантності рекомендацій.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було успішно виконано повний цикл практичної розробки, впровадження та експериментального тестування інтелектуальної інформаційної системи для «розумного» туризму. На основі розроблених концептуальної та логічної моделей бази даних створено надійний програмний каркас, що використовує гнучкість нереляційної СУБД MongoDB для ефективного зберігання напівструктурованої туристичної інформації. Програмна реалізація системи базується на модульній архітектурі, що забезпечило чіткий розподіл функціональних обов'язків між представленням даних, бізнес-логікою та інтелектуальною обробкою.

Центральним досягненням практичної частини стала реалізація багаторівневого інтелектуального конвеєра, який об'єднав генеративні можливості

великої мовної моделі Gemini 1.5 Flash із детермінованими алгоритмами машинного навчання K-Means та DBSCAN. Такий гібридний підхід дозволив ефективно боротися з проблемою просторових «галюцинацій» штучного інтелекту, забезпечивши надійну трансформацію нечітких природномовних запитів користувача у логістично вивірені, структуровані та фінансово збалансовані туристичні плани. Для взаємодії з цим складним функціоналом було спроектовано адаптивний користувацький інтерфейс із застосуванням компонентно-орієнтованої бібліотеки React, що гарантує високу інтерактивність та мінімізує когнітивне навантаження на мандрівників під час планування поїздок. Розроблена архітектура взаємодії враховує специфічні сценарії для різних акторів системи, забезпечуючи цілісність користувацького досвіду.

Проведене експериментальне дослідження підтвердило адекватність обраних методів аналізу даних та загальну стабільність системи. У ході тестування було виявлено та усунено низку дефектів граничних умов: зокрема, оптимізовано параметр радіуса охоплення для алгоритму DBSCAN та впроваджено превентивну перевірку обсягу даних перед запуском K-Means. Фінальний аналіз результатів на репрезентативній вибірці з 50 генерацій довів високу ефективність розробленого рішення: у 74% випадків коректний маршрут формується з першої спроби, показник тематичної однорідності кластерів становить 91%, а використання методів просторової оптимізації скорочує логістичну відстань пересування туристів у середньому на 27%. Зіставлення отриманих показників із поставленими вимогами дозволяє констатувати повне виконання всіх функціональних завдань, що робить розроблену платформу дієвим інструментом для туристичного планування в умовах цифрових екосистем «розумного» міста.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Питання щодо охорони праці

Тема кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» присвячена методам аналізу даних та штучного інтелекту для інтелектуальної системи "розумного" туризму. Тому розглянемо питання охорони праці персоналу туристичної сфери під час організації та супроводу туристичних маршрутів, а також питання забезпечення безпечних умов праці в туристичних об'єктах, оскільки розроблювана система безпосередньо взаємодіє з працівниками галузі та впливає на умови їх трудової діяльності.

4.1.1 Охорона праці персоналу туристичної сфери під час організації та супроводу туристичних маршрутів

Охорона праці у туристичній галузі регулюється Законом України «Про охорону праці», Кодексом законів про працю України, а також галузевими нормативними актами, зокрема правилами безпеки під час організації та проведення туристичних подорожей. Персонал туристичної сфери, який безпосередньо організовує та супроводжує маршрути, належить до категорії працівників із підвищеним рівнем професійного ризику, що зумовлено специфікою їх трудової діяльності: роботою у відкритому середовищі, постійним переміщенням, контактом із великою кількістю людей та залежністю від погодних умов. Роботодавець зобов'язаний створити безпечні умови праці для туристичного персоналу, забезпечити проведення інструктажів з охорони праці, надати необхідні засоби індивідуального захисту та розробити інструкції з безпеки для кожного виду маршруту.

Організація туристичного маршруту починається задовго до безпосереднього виходу на локацію і вимагає ретельної підготовки з точки зору

мінімізації професійних ризиків для персоналу [52]. Ключовим превентивним заходом є система інструктажів. Усі працівники туристичної сфери, які залучаються до супроводу груп, зобов'язані своєчасно проходити вступний, первинний та повторний інструктажі з питань охорони праці. Особливе значення має цільовий інструктаж, який проводиться безпосередньо перед початком кожного нового, складного або нестандартного маршруту. На етапі проєктування туристичного продукту організатори зобов'язані провести ідентифікацію потенційних небезпек та детальну оцінку професійних ризиків для своїх співробітників. Важливим аспектом є також обов'язковий і регулярний медичний огляд працівників, оскільки супровід туристичних груп вимагає значної фізичної витривалості, високої стресостійкості та абсолютної відсутності медичних протипоказань до роботи в екстремальних умовах.

Не менш важливою вимогою законодавства, яка лягає на плечі керівництва туристичного підприємства, є забезпечення персоналу необхідними засобами індивідуального та колективного захисту, а також спеціальним одягом і спорядженням, що повністю відповідає специфіці обраного маршруту. У сфері активного туризму, яка включає гірські походи, спелеотуризм, сплави бурхливими річками чи велотуризм, інструктори повинні бути екіпіровані виключно сертифікованим спорядженням, яке має регулярно проходити технічний огляд і випробування на придатність. Крім того, кожен працівник, який відповідає за супровід групи на маршруті, має бути забезпечений надійними засобами зв'язку для безперебійного контакту з базовим табором, диспетчерами або рятувальними підрозділами Державної служби з надзвичайних ситуацій. Невіддільним атрибутом робочого місця гіда є також укомплектована аптечка першої долікарської допомоги. Технічне та матеріальне оснащення маршруту повинно бути сплановано таким чином, щоб мінімізувати фізичне перевантаження працівника та надійно захищати його від несприятливих погодних умов, таких як різке переохолодження, тепловий чи сонячний удар, а також від травмування внаслідок падіння чи інших нещасних випадків.

Під час безпосереднього супроводу туристичних маршрутів охорона праці персоналу набуває суто практичного виміру і критично залежить від самостійних, зважених рішень працівника безпосередньо на місці [53]. Гід або інструктор виступає не лише як лідер та організатор для групи туристів, але й як особа, що несе повну відповідальність за збереження власного життя та здоров'я в умовах відносної або повної автономності. Працівник повинен суворо дотримуватися затвердженого графіка руху, а також раціонального режиму праці та відпочинку. Накопичена втома є одним із найголовніших та найпідступніших факторів ризику в туристичній діяльності, оскільки вона непомітно, але суттєво знижує концентрацію уваги, аналітичні здібності та швидкість реакції на раптову небезпеку. Саме тому трудове законодавство вимагає від роботодавців раціонального розподілу робочого навантаження, забезпечення достатнього часу для повноцінного сну та відновлення сил інструкторів під час тривалих багатоденних турів. У разі різкого погіршення погодних умов, виникнення стихійних лих, техногенних аварій або інших надзвичайних ситуацій, працівник туристичного підприємства має законне право і прямий обов'язок самостійно змінити нитку маршруту або взагалі припинити його проходження з метою збереження власного життя та безпеки довірених йому людей.

Окрім суто фізичних та природних факторів, величезну роль у системі охорони праці туристичного персоналу відіграють психофізіологічні та біологічні ризики. Постійна робота в системі «людина-людина» завжди супроводжується високим рівнем емоційної напруги та постійним стресом. Існує висока ймовірність виникнення гострих конфліктних ситуацій як усередині туристичної групи, так і з місцевим населенням або представниками влади в інших країнах чи регіонах. Тому туристичний персонал повинен проходити спеціальну психологічну підготовку, спрямовану на засвоєння методів ефективного управління конфліктами та стрес-менеджменту. Щодо біологічних небезпек, робота на природі несе в собі ризики нападів диких тварин, укусів отруйних комах та

плазунів, а також інфікування специфічними для певного географічного регіону захворюваннями.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що охорона праці персоналу туристичної сфери під час організації та безпосереднього супроводу маршрутів є надзвичайно складним і багатогранним комплексом завдань. Вона вимагає абсолютної спільної відповідальності як з боку держави та керівника туристичного підприємства, так і з боку самого працівника. Об'єктивна специфіка галузі унеможлиблює створення абсолютно безпечного, ізольованого від зовнішніх впливів робочого середовища. Однак, суворе дотримання вимог чинного законодавства, глибока та якісна попередня підготовка маршрутів, належне сучасне матеріально-технічне забезпечення та висока професійна кваліфікація кадрів дозволяють звести існуючі професійні ризики до прийняттого мінімуму.

4.1.2 Забезпечення безпечних умов праці в туристичних об'єктах

На відміну від динамічних туристичних маршрутів, стаціонарні туристичні об'єкти, такі як готелі, санаторно-курортні комплекси, бази відпочинку та заклади ресторанного господарства, являють собою складні інфраструктурні системи з різноплановими робочими зонами. Забезпечення безпечних умов праці тут регламентується загальними нормами трудового законодавства, санітарними правилами та галузевими стандартами гостинності. Роботодавець несе повну юридичну відповідальність за створення такого виробничого середовища, яке виключає або зводить до мінімуму вплив небезпечних та шкідливих факторів на персонал. Це досягається шляхом регулярної атестації робочих місць, постійного санітарно-гігієнічного контролю за станом мікроклімату, освітлення, рівня шуму, а також забезпеченням безперебійної та надійної роботи систем вентиляції й очищення повітря [54].

Специфіка функціонування туристичних об'єктів полягає в тому, що персонал різних підрозділів щоденно стикається з абсолютно різними категоріями професійних ризиків, що вимагає диференційованого підходу до охорони праці. Працівники служби харчування та ресторанів постійно взаємодіють із високотемпературним обладнанням, гострими механізмами, паровими установками та потужними електроприладами, що створює постійний ризик опіків, механічних травм та ураження струмом. Персонал служби прибирання номерного фонду піддається значним ергономічним навантаженням через важку фізичну працю, монотонні рухи, а також стикається з хімічними небезпеками через регулярний контакт із професійними мийними та дезінфекційними засобами. Своєю чергою, інженерно-технічні служби, які обслуговують ліфтове господарство, котельні, басейни та електромережі, працюють в умовах підвищеної небезпеки. З огляду на це, адміністрація закладу зобов'язана не лише розробляти вузькоспеціалізовані інструкції з охорони праці для кожної посади, але й безперервно постачати працівникам якісний спецодяг, спецвзуття з антиковзним покриттям та надійні засоби індивідуального захисту.

Окремим і надзвичайно важливим вектором охорони праці в стаціонарних туристичних закладах є пожежна безпека та готовність персоналу до дій в умовах надзвичайних ситуацій техногенного чи природного характеру [55]. Оскільки в готелях та комплексах відпочинку одночасно перебуває велика кількість людей, які не орієнтуються в плануванні будівлі, відповідальність за їхню координацію та безпечну евакуацію повністю лягає на плечі навчених співробітників. Робоче місце кожного працівника має бути інтегроване в загальну систему безпеки об'єкта. Це вимагає від керівництва встановлення та регулярного обслуговування сучасних систем автоматичного пожежогасіння, димовидалення та голосового оповіщення. Від персоналу ж законодавство вимагає регулярного проходження практичних тренінгів, інструктажів з пожежного мінімуму та участі в навчальних евакуаціях, щоб довести до автоматизму алгоритми дій при пожежі, відключенні електроенергії чи аваріях у комунальних мережах.

Комплексна система управління охороною праці в закладах розміщення та харчування не може обмежуватися лише технічними заходами. Її основою є формування глибокої культури безпеки серед усього колективу. Будь-яке ігнорування правил техніки безпеки на робочому місці – чи то спроба очистити увімкнений кухонний комбайн, чи порушення пропорцій розведення хімікатів під час прибирання – загрожує не лише здоров'ю самого працівника, але й створює пряму небезпеку для життя гостей закладу. Відтак, жорсткий внутрішній аудит умов праці, своєчасна модернізація або списання застарілого обладнання, а також постійна мотивація персоналу до суворого дотримання інструкцій є фундаментальною запорукою стабільного, безпечного та успішного функціонування будь-якого туристичного підприємства.

4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

Враховуючи, що розроблювана платформа здійснює автоматизоване планування маршрутів для реальних мандрівників, принципово важливим є розгляд питань безпеки в надзвичайних ситуаціях, зокрема аналізу небезпечних факторів у туристичній діяльності та методів їх прогнозування, а також оцінки ризиків для безпеки туристів під час подорожей і заходів їх мінімізації. Інтелектуальна система, що генерує маршрути на основі алгоритмів кластеризації та великих мовних моделей, несе опосередковану відповідальність за логістичну обґрунтованість пропонованих рішень, що робить питання надзвичайних ситуацій невід'ємною складовою її концепції.

4.2.1 Аналіз небезпечних факторів у туристичній діяльності та методи їх прогнозування

Туристична діяльність за своєю природою пов'язана з постійним переміщенням людей у нових, часто незнайомих середовищах, що об'єктивно

породжує широкий спектр потенційних небезпек. Систематизація та своєчасне прогнозування цих небезпечних факторів є необхідною умовою забезпечення безпеки мандрівників і становить одне з ключових завдань організаторів туристичної діяльності.

Небезпечні фактори туристичної діяльності прийнято класифікувати за чотирма основними групами [56]. Природні фактори охоплюють екстремальні метеорологічні явища, стихійні лиха, складний гірський або водний рельєф, небезпечних тварин і рослини, а також сейсмічну та вулканічну активність у регіонах відвідування. Техногенні фактори пов'язані з аваріями на транспортних засобах, несправністю туристичного спорядження та обладнання, пожежами в місцях розміщення, а також із недостатнім рівнем розвитку інфраструктури в окремих туристичних дестинаціях. До соціальних факторів відносять злочинність, тероризм, масові заворушення та політичну нестабільність у країні або регіоні перебування туристів. Медико-біологічні фактори включають інфекційні та паразитарні захворювання, ендемічні хвороби, харчові отруєння, алергічні реакції на незнайому флору та фауну, а також недостатній рівень розвитку медичної інфраструктури в окремих туристичних регіонах.

Кожна з перелічених категорій вимагає специфічних підходів до прогнозування. Для природних ризиків ключовим інструментом є моніторинг метеорологічних і сейсмічних даних, аналіз сезонної динаміки стихійних явищ та картографування зон підвищеної природної безпеки. Практика свідчить, що значна частина нещасних випадків на туристичних маршрутах виникає внаслідок недооцінки природних ризиків організаторами подорожей або самими туристами. Прогнозування техногенних ризиків базується на систематичному аналізі технічного стану транспортних засобів, засобів розміщення та туристичного обладнання, а також на дотриманні нормативних вимог до їх технічного обслуговування.

Оцінка соціальних ризиків здійснюється на підставі моніторингу офіційних рекомендацій міністерств закордонних справ, звітів міжнародних організацій

безпеки та індексів злочинності в туристичних регіонах. Туроператори зобов'язані відстежувати актуальну політичну та криміногенну ситуацію в країнах призначення і своєчасно інформувати туристів про наявні загрози. Медико-біологічні ризики прогноуються на основі епідеміологічних даних Всесвітньої організації охорони здоров'я, національних санітарно-епідеміологічних служб та ендемічних карт інфекційних захворювань, що дозволяє завчасно визначати перелік необхідних щеплень і профілактичних заходів для конкретного маршруту [57].

Комплексний підхід до прогнозування небезпечних факторів передбачає інтеграцію всіх перелічених методів у єдину систему оцінки ризиків, яка супроводжує туристичний маршрут від етапу планування до завершення подорожі. Міжнародна практика свідчить про ефективність превентивного підходу, за якого детальна оцінка ризиків проводиться ще на стадії розробки маршруту, що дозволяє своєчасно коригувати його параметри, уникати потенційно небезпечних ділянок та розробляти чіткі плани евакуації на випадок надзвичайних ситуацій.

4.2.2 Безпека туристів під час подорожей: оцінка ризиків та заходи їх мінімізації

Забезпечення особистої безпеки туристів під час подорожей є комплексним завданням, яке охоплює як організаційно-правові аспекти діяльності туроператорів, так і індивідуальну відповідальність самих мандрівників. На відміну від попереднього підрозділу, де акцент робився на ідентифікації та прогнозуванні небезпечних факторів, цей розділ зосереджується на практичних механізмах оцінки ризиків та конкретних заходах їх мінімізації, які застосовуються безпосередньо в процесі організації та проведення туристичних подорожей.

Оцінка ризиків є обов'язковим попереднім етапом організації будь-якого туристичного маршруту. У міжнародній практиці для цього використовується матрична модель оцінки ризиків, яка передбачає визначення двох ключових параметрів для кожного виявленого небезпечного фактора: імовірності його настання та тяжкості можливих наслідків. На перетині цих параметрів формується рівень ризику, який може бути прийнятним, допустимим або критичним. Маршрути з критичним рівнем ризику підлягають обов'язковому перегляду або скасуванню, тоді як для допустимих ризиків розробляються відповідні заходи контролю та мінімізації. Така методологія дозволяє туроператорам приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності реалізації конкретного маршруту та необхідного обсягу превентивних заходів.

Практичні заходи мінімізації ризиків для туристів реалізуються на кількох рівнях [58]. На рівні передподорожньої підготовки ключовими заходами є інформування туристів про специфіку дестинації, санітарно-епідеміологічні вимоги та необхідні щеплення, забезпечення туристів контактами екстреної допомоги в країні перебування, а також укладання договорів страхування, які покривають медичні витрати, евакуацію та відповідальність перед третіми особами. Страхування є одним із найефективніших інструментів фінансової мінімізації ризиків, оскільки дозволяє перенести більшу частину фінансових наслідків надзвичайних ситуацій на страхову компанію.

На рівні безпосереднього проведення маршруту першочергового значення набувають заходи оперативного контролю. Гід-супровідник зобов'язаний систематично оцінювати актуальний стан маршруту, погодні умови та самопочуття учасників групи, коригуючи темп і програму подорожі відповідно до обставин [59]. Важливим елементом є підтримання постійного зв'язку з базовим офісом туроператора та місцевими службами екстреної допомоги. У разі виникнення надзвичайної ситуації персонал повинен діяти відповідно до заздалегідь розробленого плану реагування, який передбачає чіткий розподіл обов'язків, порядок евакуації та алгоритм інформування рідних постраждалих.

Окремим напрямом мінімізації ризиків є робота з індивідуальними особливостями учасників групи. Перед початком маршруту туроператор зобов'язаний зібрати інформацію про стан здоров'я туристів, наявність хронічних захворювань, алергій та індивідуальних обмежень. Це дозволяє адаптувати маршрут та темп подорожі під реальні фізичні можливості групи, що суттєво знижує ймовірність виникнення медичних надзвичайних ситуацій. Зокрема, для груп із туристами старшого віку або дітьми необхідно передбачати більш тривалі зупинки для відпочинку, уникати маршрутів із надмірним фізичним навантаженням та забезпечувати посилений медичний супровід.

Суттєвим чинником підвищення рівня безпеки туристів є також розвиток культури особистої відповідальності самих мандрівників. Дослідження свідчать, що значна частина нещасних випадків під час подорожей є наслідком ігнорування туристами попереджень і рекомендацій гідів, самовільного відхилення від маршруту або недотримання правил безпеки в зонах підвищеної небезпеки. Інформаційно-просвітницька робота з туристами, проведення обов'язкових інструктажів перед виходом на маршрут та чітке документування факту ознайомлення з правилами безпеки є важливими організаційними заходами, що дозволяють одночасно підвищити реальний рівень безпеки та розмежувати відповідальність між організатором і учасниками подорожі.

Підсумовуючи, комплексна система забезпечення безпеки туристів під час подорожей має охоплювати три взаємопов'язані складові: превентивну оцінку ризиків на етапі планування маршруту, оперативний моніторинг і контроль під час проведення подорожі та чітко регламентовані процедури реагування на надзвичайні ситуації.

4.3 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі було розглянуто питання охорони праці та безпеці в надзвичайних ситуаціях, підтверджено, що функціонування сучасної туристичної

індустрії та розробка інтелектуальних систем планування маршрутів неможливі без глибокого врахування факторів ризику. Специфіка туризму полягає у постійній взаємодії людини з мінливим, а подекуди екстремальним навколишнім середовищем, що вимагає впровадження комплексних заходів захисту як для персоналу, який забезпечує надання послуг, так і для самих мандрівників.

Охорона праці в туристичній сфері має яскраво виражений дуалістичний характер, охоплюючи як динамічні маршрути, так і стаціонарні об'єкти гостинності. Забезпечення безпеки гідів та інструкторів в умовах відносної автономності вимагає від роботодавця ретельної організації системи цільових інструктажів, забезпечення персоналу сертифікованим екіпіруванням та надійними засобами зв'язку. Водночас робота в стаціонарних об'єктах, таких як готелі та заклади харчування, потребує суворого контролю за санітарно-гігієнічними нормами, ергономікою робочих місць, справністю технологічного обладнання та дотриманням правил пожежної безпеки і цивільного захисту. Спільним знаменником для всіх працівників галузі є високий рівень психоемоційного навантаження в системі «людина-людина», що робить психологічну підготовку та раціональний режим праці і відпочинку критично важливими елементами запобігання професійному вигоранню та виробничому травматизму.

З погляду безпеки життєдіяльності та захисту в надзвичайних ситуаціях, ключовим інструментом управління є завчасна ідентифікація та прогнозування природних, техногенних, соціальних і медико-біологічних факторів небезпеки. Сучасний підхід до організації туризму вимагає безальтернативного переходу від реактивної моделі поведінки до проактивного моніторингу загроз, що включає аналіз метеорологічних даних, епідеміологічної ситуації та криміногенної стабільності в дестинаціях. Інтеграція цих аналітичних процесів на етапі створення продукту дозволяє уникати зон підвищеного ризику ще до початку мандрівки.

Безпека самих туристів гарантується через впровадження матричної моделі оцінки ризиків та багаторівневу систему їх мінімізації. Вона розпочинається з якісної передподорожньої підготовки, яка включає обов'язкове інформування, фінансове страхування та сувору адаптацію фізичного навантаження на маршруті до індивідуальних медичних можливостей групи. На етапі реалізації туру вирішальну роль відіграє оперативний контроль з боку супроводжуючого персоналу, який повинен миттєво реагувати на зміну обставин і діяти за чітко регламентованими протоколами евакуації та надання домедичної допомоги. Не менш важливим є і формування культури особистої відповідальності туриста, що досягається шляхом проведення інструктажів та юридичного закріплення правил поведінки.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що забезпечення високих стандартів безпеки та охорони праці є безперервним процесом, який вимагає консолідованих зусиль держави, туристичних операторів, персоналу та самих клієнтів. Імплементация проаналізованих превентивних механізмів, алгоритмів оцінки ризиків та протоколів дозволить звести ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій до прийняттого мінімуму. Це є абсолютною гарантією збереження життя і здоров'я всіх учасників туристичного процесу та головною передумовою надання безпечних туристичних послуг високої якості.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» на тему «Методи аналізу даних та машинного навчання для інтелектуальної системи у розумному туризмі» отримано наступні результати.

У першому розділі подано загальну характеристику концепції «розумного» туризму як якісно нового етапу розвитку туристичної галузі, що базується на інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій, сенсорних систем та аналітичних платформ у єдину цифрову екосистему. Розглянуто сучасні інформаційні системи та сервіси у сфері туризму, зокрема глобальні дистрибутивні системи та платформи онлайн-бронювання, що утворюють технологічну основу сучасного туристичного ринку. Висвітлено роль технологій штучного інтелекту в туристичних системах, включаючи чат-боти, системи рекомендацій та засоби віртуальної і доповненої реальності. Проаналізовано існуючі програмні рішення та виявлено їхні ключові недоліки: застарілість даних, недостатній рівень персоналізації алгоритмів та обмежені аналітичні можливості. Обґрунтовано необхідність розроблення нової інтелектуальної інформаційної системи, здатної інтегруватися з компонентами «розумного» міста та «розумної» мобільності і забезпечувати адаптивне формування туристичних рекомендацій у режимі реального часу. Сформовано повний перелік функціональних та нефункціональних вимог до розроблюваної системи, що охоплюють персоналізацію профілю користувача, інтеграцію з геоінформаційними сервісами, обробку природної мови та забезпечення масштабованості архітектури.

У другому розділі кваліфікаційної роботи описано загальну клієнт-серверну архітектуру інтелектуальної інформаційної системи на основі патерну MVC та технологічного стеку MERN, що забезпечує чіткий розподіл функціональних обов'язків між представленням даних, бізнес-логікою та персистентним сховищем. Розроблено багаторівневу модель подання туристичної інформації на основі документо-орієнтованого підходу та формату JSON, що реалізує принцип «схеми

за запитом» і забезпечує гнучкість при інтеграції з генеративними моделями штучного інтелекту. Досліджено методи машинного навчання, зокрема алгоритми просторової кластеризації k-means та DBSCAN, що дозволяють групувати туристичні локації за географічною щільністю та семантичною близькістю, мінімізуючи логістичні витрати туриста. Подано порівняльний опис методів обробки природної мови на базі великої мовної моделі Google Gemini 1.5 Flash із застосуванням технік промпт-інжинірингу, які в сукупності забезпечують структурну цілісність вихідних даних та усувають проблему «галюцинацій» штучного інтелекту. Обґрунтовано вибір технологічного стеку, де React.js із механізмом Virtual DOM забезпечує високу інтерактивність інтерфейсу, Node.js з неблокуючою моделлю введення-виведення гарантує стабільну обробку паралельних запитів, а MongoDB забезпечує ефективне зберігання напівструктурованої туристичної інформації.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розроблено концептуальну та логічну моделі бази даних, що включають п'ять основних сутностей з визначеними атрибутами, доменами та механізмами посилальної цілісності. Реалізовано багаторівневий інтелектуальний конвеєр, який об'єднує генеративні можливості моделі Gemini 1.5 Flash із детермінованими алгоритмами кластеризації, забезпечуючи надійну трансформацію нечітких природномовних запитів користувача у логістично вивірені та фінансово збалансовані туристичні плани. Спроектовано адаптивний користувацький інтерфейс із застосуванням компонентно-орієнтованої бібліотеки React, що охоплює повний цикл взаємодії – від введення параметрів подорожі до перегляду деталізованого погодинного маршруту та управління збереженими поїздками. Протестовано систему за допомогою шести цільових тест-кейсів, що верифікують роботу NLP-модуля, алгоритмів k-means і DBSCAN та механізмів стійкості до «галюцинацій» ШІ; виявлені дефекти усунуто шляхом оптимізації параметра радіуса DBSCAN та впровадження превентивної перевірки обсягу даних перед запуском кластеризації. За результатами експериментального дослідження на вибірці з 50 генерацій

підтверджено ефективність розробленого рішення: у 74% випадків коректний маршрут формується з першої спроби, тематична однорідність кластерів становить у середньому 91%, а просторова оптимізація скорочує логістичну відстань пересування туристів у середньому на 27%.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gretzel, U., Sigala, M., Xiang, Z., & Koo, C. (2020). Smart tourism: foundations and developments. *Electronic Markets*, 25(3), 179–188.
2. Labunska, S., Zyma, O., & Sushchenko, S. (2022). The use of information systems as a way to ensure interaction between small and big tourism enterprises. *Access to Science, Business, Innovation in Digital Economy*, 16–28.
3. Palka, O., Dmytrotsa, L., Kozbur, H., & Nebesnyi, R. (2025). Smart people: the role of big data analytics in digital transformation. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies for medical purpose (BAITmp 2025)*, 4159, 163–174.
4. Vaz Serra, P., Seabra, C., & Caldeira, A. (2022). Smart Tourism Ecosystem perspective on the Tourism Experience: A conceptual approach. *EAI Endorsed Transactions on Smart Cities*, 6(4).
5. Ercan, F. (2023). Smart tourism destination: A bibliometric review. *European Journal of Tourism Research*, 34, 3409.
6. Li, D., Du, P., & He, H. (2022). Artificial Intelligence-Based Sustainable Development of Smart Heritage Tourism. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022, 6554512.
7. García-Madurga, M.-Á., & Grilló-Méndez, A.-J. (2023). Artificial Intelligence in the Tourism Industry: An Overview of Reviews. *Administrative Sciences*, 13(8), 172.
8. Ma, S., & Zhang, L. (2024). Enhancing Tourists' Satisfaction: Leveraging Artificial Intelligence in the Tourism Sector. *Pacific International Journal*, 7(3), 1–6.
9. Palka, O., Kunanets, N., Pasichnyk, V., Matsiuk, O., & Matsiuk, S. (2023). Comparative Analysis of Smart City Platforms. *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2023)*, 3403, 487-499.

10. Louati, A., Louati, H., Alharbi, M., Kariri, E., Khawaji, T., Almubaddil, Y., & Aldwsary, S. (2024). Machine Learning and Artificial Intelligence for a Sustainable Tourism: A Case Study on Saudi Arabia. *Information*, 15(9), 516.
11. Aliyah, Lukita, C., Pangilinan, G. A., Chakim, M. H. R., & Saputra, D. B. (2023). Examining the Impact of Artificial Intelligence and Internet of Things on Smart Tourism Destinations: A Comprehensive Study. *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, 5(2sp), 12–22.
12. Khan, U., & Khan, K. A. (2024). Generative artificial intelligence (GAI) in hospitality and tourism marketing: Perceptions, risks, benefits, and policy implications. *Journal of Global Hospitality and Tourism*, 3(1), Article 5.
13. Hu, J., & Lin, B. (2025). What is next for travel innovation? Generative Artificial Intelligence (GAI) in tourism product development from multi-perspectives. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*.
14. Палка, О. (2023). Аналіз інтегрованої архітектури розумного міста з блокчейном та ІоТ. *Науковий вісник НЛТУ України*, 33(6), 94–99.
15. Sancho Núñez, J. C., Gómez-Pulido, J. A., & Robina Ramírez, R. (2024). Machine learning applied to tourism: A systematic review. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 14(5), e1549.
16. Liu, L. (2022). e-Commerce Personalized Recommendation Based on Machine Learning Technology. *Mobile Information Systems*, 2022, 1761579.
17. Mou, N., Jiang, Q., Zhang, L., Niu, J., Zheng, Y., Wang, Y., & Yang, T. (2022). Personalized tourist route recommendation model with a trajectory understanding via neural networks. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 1738–1759.
18. Palka, O., Dmytrotsa, L., Duda, O., Kunanets, N., & Pasichnyk, V. (2024). Information and Technological Tools for Analysis and Visualization of Open Data in Smart Cities. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024)*, 3742, 1–12.

19. Basheer, S., Hassan, V., Farooq, S., Ashraf, F., & Ahmad, M. (2023). Evaluating E-Tourism through bibliometrics: Materials and emerging research trends. *Journal of Tourismology*, 9(2), 135–146.
20. Bahou, Y., Triki, R., Maâloul, M. H., & Tissaoui, K. (2024). Development of E-Tourism to Achieve Excellence and Sustainable Development in Tourism: Ha'il Region Case Study. *Sustainability*, 16(20), 8872.
21. Al Beruni, M., Kobra, M. K., Rahman, S., Khalil, M. I., & Rolle, J. (2025). Exploring the impact of Google Maps on tourism flourishing. *Journal of Purchasing, Logistics and Supply Chain Management System*, 6(1), 8–21.
22. Mokgehle, D., & Fitchett, J. M. (2024). Efficacy of Automating the Analysis of TripAdvisor Data in Tourism and Climate Studies. *Tourism Planning & Development*, 21(6), 959–979.
23. Tuo, Y., Wu, J., Zhao, J., & Si, X. (2025). Artificial intelligence in tourism: insights and future research agenda. *Tourism Review*, 80(4), 793–812.
24. Sancho Núñez, J. C., Gómez-Pulido, J. A., & Robina Ramírez, R. (2024). Machine learning applied to tourism: A systematic review. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 14(5), e1549.
25. Maulana, F., & Setiawan, E. B. (2024). Performance of Deep Feed-Forward Neural Network Algorithm Based on Content-Based Filtering Approach. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 8(2), 239–254.
26. Banerjee, A., Satish, A., Aisyah, F. N., Wörndl, W., & Deldjoo, Y. (2026). Collab-REC: An LLM-based agentic framework for balancing recommendations in tourism. arXiv preprint arXiv:2508.15030v4.
27. Attouche, L., Baazizi, M.-A., Colazzo, D., Ghelli, G., Sartiani, C., & Scherzinger, S. (2024). Validation of Modern JSON Schema: Formalization and Complexity. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 8(POPL), 1451–1481.

28. Jančařík, A., & Dušek, O. (2024). The problem of AI hallucination and how to solve it. Proceedings of the 23rd European Conference on e-Learning (ECEL 2024). ACPI.
29. Bandi, A., Adapa, P. V. S. R., & Kuchi, Y. E. V. P. K. (2023). The Power of Generative AI: A Review of Requirements, Models, Input–Output Formats, Evaluation Metrics, and Challenges. *Future Internet*, 15(8), 260.
30. Ferdiansyah, F. R., Nugraha, R. W., Sofian, R., Purwanto, H., Saepudin, D., & Andriansyah, E. (2024). Implementation of K-Means and DBSCAN algorithms: A bibliometric review. Proceedings of the Widyatama International Conference on Engineering 2024 (WICOENG 2024), 252, 198–204.
31. Choo, S., & Kim, W. (2023). A study on the evaluation of tokenizer performance in natural language processing. *Applied Artificial Intelligence*, 37(1), 2175112.
32. Luo, Q., Zeng, W., Chen, M., Peng, G., Xiaofeng, Y., & Yin, Q. (2023). Self-attention and transformers: Driving the evolution of large language models. 2023 IEEE 6th International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP). IEEE.
33. Dehimi, N. E. H., & Tolba, Z. (2024). Attention mechanisms in deep learning: Towards explainable artificial intelligence. 2024 6th International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP). IEEE.
34. Dang, H., Mecke, L., Lehmann, F., Goller, S., & Buschek, D. (2022). How to Prompt? Opportunities and Challenges of Zero- and Few-Shot Learning for Human-AI Interaction in Creative Applications of Generative Models. In *GenAICHI: Generative AI and Computer Human Interaction, Workshop at CHI'22*. ACM.
35. Patlan, A. S., Sheng, P., Hebbar, S. A., Mittal, P., & Viswanath, P. (2025). Real AI agents with fake memories: Fatal context manipulation attacks on Web3 agents. arXiv preprint arXiv:2503.16248v3.

36. Herfort, B., Lautenbach, S., Porto de Albuquerque, J., Anderson, J., & Zipf, A. (2023). A spatio-temporal analysis investigating completeness and inequalities of global urban building data in OpenStreetMap. *Nature Communications*, 14(1), 3989.
37. Murtaza, S. M. S., et al. (2023). Comprehensive survey on hierarchical clustering algorithms and the recent developments. *Artificial Intelligence Review*, 56, 8219–8264.
38. Tabianan, K., Velu, S., & Ravi, V. (2022). K-Means Clustering Approach for Intelligent Customer Segmentation Using Customer Purchase Behavior Data. *Sustainability*, 14(12), 7243.
39. Ikotun, A. M., Ezugwu, A. E., Abualigah, L., Abuhaija, B., & Heming, J. (2023). K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*, 622, 178–210.
40. Nie, F., Li, Z., Wang, R., & Li, X. (2023). An effective and efficient algorithm for K-means clustering with new formulation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 35(4), 3424–3435.
41. Hanafi, N., & Saadatfar, H. (2022). A fast DBSCAN algorithm for big data based on efficient density calculation. *Expert Systems with Applications*, 203, 117501.
42. Stewart, G., & Al-Khassaweneh, M. (2022). An Implementation of the HDBSCAN Clustering Algorithm. *Applied Sciences*, 12(5), 2405.
43. Naidu, G., Zuva, T., & Sibanda, E. M. (2023). A review of evaluation metrics in machine learning algorithms. In R. Silhavy & P. Silhavy (Eds.), *Artificial Intelligence Application in Networks and Systems: Proceedings of 12th Computer Science On-line Conference 2023, Volume 3* (pp. 15–25). Springer.
44. Thieu, N. V. (2024). PerMetrics: A framework of performance metrics for machine learning models. *Journal of Open Source Software*, 9(95), 6143.
45. Rainio, O., Teuvo, J., & Klén, R. (2024). Evaluation metrics and statistical tests for machine learning. *Scientific Reports*, 14(1), 6086.
46. Rahmanian, M., Sami, A., & Yu, Y. (2025). Challenges and feasibility of multimodal LLMs in ER diagram evaluation. *Cogent Education*, 12(1), Article 2590901.

47. Khamsepour, P., Cole, M., Ashraf, I., Tan, D., Puri, S., Sabetzadeh, M., & Nejati, S. (2025). The impact of critique on LLM-based model generation from natural language: The case of activity diagrams. arXiv.
48. Moezkarimi, Z., Eriksson, K., Johansson, A. A., Bucaioni, A., & Sirjani, M. (2025). Harnessing ChatGPT for model transformation in software architecture: From UML state diagrams to Rebeca models for formal verification. IEEE.
49. Mornie, M. N., Jali, N., Cheah, W. S., Mit, E., Saeed, S., Jali, S. K., & Greer, D. (2025). Visualisation of user stories to UML use case diagram. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 63(3), 68–80.
50. Mohapatra, P. S. (2025). Artificial intelligence-driven test case generation in software development. In *Intelligent assurance: Artificial intelligence-powered software testing in...* (pp. 38–xx). Deep Science Publishing.
51. Palka, O., Melnyk, A., Dmytrotso, L., Vasylenko, Y., & Klymuk, N. (2025). Dynamic test case prioritisation for mobile applications based on real user behaviour data. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2025)*, 4057, 179–188.
52. Горбаль Р. П., Федина Л. О. Охорона праці та інформаційні системи туристичного комплексу. Охорона праці: освіта і практика та Проблеми та перспективи розвитку охорони праці : збірник наукових праць конференцій. Львів : ЛДУБЖД, 2023.
53. Турчин Р. В., Фірман В. М. Забезпечення безпеки праці персоналу та відпочинку туристів. Охорона праці: освіта і практика та Проблеми та перспективи розвитку охорони праці : збірник наукових праць конференцій. Львів : ЛДУБЖД, 2022.
54. Юдіна О. І., Язіна В. А., Вишнікіна О. В. Удосконалення системи охорони праці у сфері готельно-ресторанної справи. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 44.
55. Нездоймінов С. Г., Галасюк С. С. Організація готельного господарства : навчальний посібник. Одеса : ОНЕУ, 2021. 265 с.

56. Горіна Г. О., Крижимінська Є. Г. Підходи до оцінки безпеки в міжнародному туризмі. Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Серія: Економічні науки. 2022. № 1 (51).

57. Ахмедова О. О., Єрмаков І. О. Класифікація ризиків у контексті забезпечення економічної безпеки туристичної галузі. Економіка та суспільство. 2026. Вип. 85.

58. Конох А. Безпека в туризмі: сучасний стан, проблеми, перспективи. Формування сучасних концепцій управління туризмом та готельно-ресторанним бізнесом в умовах парадигми сталого розвитку : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 5 груд. 2024 р.). Запоріжжя : ЗНУ, 2024.

59. Голод А., Базюк М. Пріоритети розвитку туристичних дестинацій у контексті гарантування безпеки туризму. Розвиток туристичної сфери в умовах глобалізації : збірник матеріалів наук. праць. Львів : ЛДУФК імені Івана Боберського, 2022. С. 231.

ДОДАТКИ

Міністерство освіти і науки України
 Тернопільський національний технічний університет
 імені Івана Пулюя
 Маріборський університет (Словенія)
 Технічний університет в Кошице (Словаччина)
 Каунаський технологічний університет (Литва)
 Львівський національний університет
 імені Івана Франка
 Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (Польща)
 Луцький національний технічний університет
 Чернівецький національний університет
 імені Юрія Федьковича
 Вроцлавський економічний університет (Польща)
 Університет технологій та економіки
 імені Хелени Ходковської (Польща)
 Донбаська державна машинобудівна академія



*Студентське наукове
товариство*



ІХ МІЖНАРОДНА

студентська науково - технічна конференція

"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

24-25 квітня 2026 р.

(збірник тез конференції)

Тернопіль 2026

*IX Міжнародна студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"*

Іванюк А. ТОПОЛОГІЧНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПОШУК АРХІТЕКТУР U-NET НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ТРИВИМІРНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ	184
Каленюк Д. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АРІ ПЛАТФОРМИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ	186
Караванський В. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОПУЛЯРНИХ ТОВАРНИХ ПІДКАТЕГОРІЙ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ПОПУЛЯРНОСТІ	188
Карпюк К. АНАЛІЗ ТА ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ У ДАНИХ	190
Кікцьо Т. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПЛАНУВАННЯ ІТ-ПРОЄКТІВ	192
Кіндзерський Н. ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ У СФЕРІ «РОЗУМНОГО» ТУРИЗМУ	194
Кобель Б. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПЛАНУ ТРЕНУВАНЬ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	195
Ковальчук Н. РОЗРОБКА МОДЕЛІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ У ЗАДАЧАХ ПОПИТУ	197
Козлівський В. МОБІЛЬНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ТА УПРАВЛІННЯ НАВЧАЛЬНИМИ ЗАНЯТТЯМИ НА БАЗІ FLUTTER	199
Кондратюк А. ОГЛЯД МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АРТЕФАКТІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ	201
Крупа М. МОВА ПРОГРАМУВАННЯ RUTRON ЯК ЗАСІБ РОЗРОБКИ І ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	203
Кугаївська С. ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У ВЕБ-ЗАСТОСУНКАХ	205

УДК 004.8:338.48

Кіндзерський Н.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ У СФЕРІ «РОЗУМНОГО» ТУРИЗМУ

Kindzerskyi N.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

USE OF LARGE LANGUAGE MODELS FOR DEVELOPING INTELLIGENT SERVICES IN SMART TOURISM

Інтеграція великих мовних моделей у сферу «розумного» туризму замінює застарілі фільтри природним діалогом, що дає змогу системі глибше розуміти справжні потреби мандрівника [1]. Моделі аналізують величезні масиви даних у режимі реального часу, створюючи гіперперсоналізовані маршрути на основі емоційного контексту та зовнішніх умов. Така трансформація робить планування подорожей миттєвим, інклюзивним та максимально автоматизованим для кожного користувача.

У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику, що наочно ілюструє якісну різницю між застарілими підходами і новими інтелектуальними сервісами [2]. Таблиця відображає ключові аспекти трансформації галузі під впливом мовних моделей.

Таблиця 1. Порівняння традиційного та «розумного» туризму

Характеристика	Традиційні сервіси	Інтелектуальні сервіси
Взаємодія користувачем	Жорсткі форми, меню, фільтри	Природна мова, контекстний діалог
Рівень персоналізації	Сегментація за загальними групами	Індивідуальні профілі в реальному часі
Планування маршрутів	Статичні списки популярних місць	Динамічні сценарії з урахуванням контексту
Аналіз зворотного зв'язку	Ручна обробка та кількісні оцінки	Автоматичний семантичний та емоційний аналіз
Локалізація	Базовий переклад текстів	Глибока культурна адаптація

Отже, великі мовні моделі трансформують сферу «розумного» туризму, перетворюючи статичні сервіси на персоналізованих інтелектуальних помічників.

1. Kontogianni A., Alepis E., 2024. AI in Smart Tourism: LLMs & GPTs Leading the Way. 2024 15th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA), IEEE, Greece. DOI: 10.1109/IISA62523.2024.10786696.

2. Don J., Vishal S., Dhanushkodi L., Dinesh R., Sathiya M., 2025. A Smart AI-Driven Heritage Guide: Enhancing Tourism. 2025 6th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV), IEEE, India. DOI: 10.1109/ICICV64824.2025.11085671.

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова

Кафедра комп'ютерних наук
та інформаційних технологій



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

МАТЕРІАЛИ ІІІ (ІХ) МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ УЧЕНИХ



Харків
2026

- 11 Алексєєв В. О., Демченко А. В., Прохоров О. В., Пахомов Ю. В. Мультиагентні моделі інтелектуального аналізу, моніторингу та управління в розподілених IoT-мережах (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 232
- 12 Кіндзерський Н. І., Палка О. В. Персоналізація туристичного досвіду через впровадження інтелектуальних інформаційних систем на основі штучного інтелекту (*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*) 234
- 13 Меньяк А. В., Берест О. Б. Формування навчальних матриць для системи підтримки прийняття рішень оцінювання банківських транзакцій (*Сумський державний університет*) 238
- 14 Веремійчук І.А., Аушева Н.М., Інтеграція штучного інтелекту у протезуванні: сучасні підходи, перспективи розвитку (*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*) 241
- 15 Іванов О. О., Овсянник В. Н. Інтелектуальна система адаптивного розподілу даних у полігенних базах даних на основі глибокого навчання з підкріпленням (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 244
- 16 Дідок В. О., Пан М. П. Мультиагентна ІІІ-система для моніторингу ринково-значущих подій у потоках відкритих даних та формування індексу геополітичної напруженості (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 246
- 17 Берковський Д. С., Артёмова А. В., Застосування алгоритмів глибокого навчання для автоматичного розпізнавання об'єктів у системах військової розвідки (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 250
- 18 Пастушенко М. О., Титаренко А. М., Zero-shot visual perception з використанням vision-language models як альтернатива спеціалізованим моделям детекції (*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*) 253
- 19 Сазонов І. А., Костенко О. Б. Інтелектуальний аналіз інформації у великих базах даних (*Харківський*) 257

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kravari, K., Roussi, M., Ladomenou, K., Thysiadou, A., & Chalaris, M. (2025). Intelligent Agent-Based Control of Distributed Sensor Networks for Environmental Monitoring and Disaster Prediction. *Engineering Proceedings*, 104(1), 38. <https://doi.org/10.3390/engproc2025104038>

УДК 004.89:338.48

Кіндзерський Н.І.¹, Палка О.В.²

ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ ТУРИСТИЧНОГО ДОСВІДУ ЧЕРЕЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Повсюдний вплив технології штучного інтелекту (ШІ) фундаментально трансформує галузі промисловості та повсякденне життя. ШІ, емуляція людського інтелекту в машинах наділяє системи здатністю автономно навчатися, міркувати та приймати рішення.

З огляду на трансформаційну еволюцію туристичної галузі, ШІ відіграє ключову роль у покращенні вражень відвідувачів, оптимізації операцій та сприянні сталому управлінню. Рішення на базі ШІ персоналізують та спрощують всю подорож мандрівника, пропонуючи індивідуальні рекомендації щодо планування перед поїздкою, вражень на місці та взаємодії після поїздки [1]. Крім того, ШІ оптимізує операційні процеси, використовуючи прогнозу аналітику та машинне навчання для прогнозування попиту, розподілу ресурсів та управління потоками відвідувачів. Прийняття рішень на основі даних дає можливість ефективно використовувати ресурси та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Інтеграція штучного інтелекту у туризмі стимулює технологічне та економічне зростання, підвищує безпеку мандрівників. Системи на базі штучного інтелекту аналізують дані в режимі реального часу для виявлення потенційних загроз та реагування на них, забезпечуючи безпечне середовище.

Яскравим прикладом застосування штучного інтелекту в туристичній галузі є зростаюче використання чат-ботів та віртуальних помічників, які забезпечують ефективне та персоналізоване обслуговування клієнтів у режимі реального часу. Такі компанії, як Booking.com, використовують штучний інтелект для покращення взаємодії з клієнтами за допомогою чат-ботів, призначених для аналізу даних користувачів, включаючи історію пошуку та попередні взаємодії, щоб надавати відповідні рекомендації щодо розміщення, такі як типи номерів, розташування та ціни, адаптовані до вподобань клієнтів. Дана

¹ Студент групи СНм-61, ТНТУ імені Івана Пулюя

² Асистент кафедри КН, ТНТУ імені Івана Пулюя, доктор філософії

технологія дозволяє компаніям ефективніше надсилати запити до клієнтів, пропонуючи точні рекомендації, одночасно зменшуючи навантаження на команди обслуговування клієнтів. Крім того, чат-боти на базі штучного інтелекту слугують інструментами комунікації для надання базової інформації та створення більш персоналізованого досвіду, використовуючи дані для відповіді на запити та запити клієнтів у контекстуальному ключі. Перевагою є те, що чат-боти працюють цілодобово, пропонуючи зручність клієнтам у різних часових поясах без часових обмежень, часто пов'язаних з людською взаємодією.

Штучний інтелект також відіграє значну роль в оптимізації маркетингових стратегій у туристичній галузі, глибоко аналізуючи поведінку клієнтів, дозволяючи компаніям створювати більш цільові пропозиції, зменшувати витрати бюджету та підвищувати коефіцієнти конверсії продажів. Штучний інтелект може обробляти та інтерпретувати дані клієнтів у режимі реального часу за допомогою алгоритмів машинного навчання, що дозволяє компаніям розробляти більш релевантні та точні рекламні акції. Наприклад, Expedia, одне з найбільших туристичних агентств світу, використовує ШІ для аналізу даних користувачів на своєму вебсайті, визначаючи моделі поведінки, такі як популярні напрямки або ідеальний час бронювання [2]. Завдяки ШІ компанії можуть керувати маркетинговою стратегією в режимі реального часу, збільшувати конверсії та заохочуючи клієнтів частіше здійснювати покупки турів або бронювати житло.

Інформація про місцезнаходження в режимі реального часу також відіграє важливу роль у сучасних системах розумного туризму. Такі програми, як VisitDubai та Smart Destinations Helsinki, відстежують потоки туристів у режимі реального часу та використовують алгоритми штучного інтелекту для рекомендації менш переповнених туристичних об'єктів. Подібні системи базуються на використанні GPS-даних, відстеження Wi-Fi та інформації з давачів, які аналізуються за допомогою алгоритмів машинного навчання для формування динамічних рекомендацій.

Важливим напрямом розвитку є інтеграція штучного інтелекту з технологіями доповненої реальності (AR), що дозволяє накладати цифровий контент на фізичне середовище. Наприклад, застосунок AR City Tour, який використовується в кількох європейських містах, надає інтерактивні туристичні путівники у вигляді віртуальних аватарів, здатних розповідати інформацію про об'єкти кількома мовами. Штучний інтелект у таких системах забезпечує адаптацію контенту відповідно до мови користувача, його інтересів та доступного часу.

Ще одним перспективним напрямом є використання комп'ютерного зору та технологій розпізнавання облич для персоналізації туристичного досвіду. У розумних тематичних парках, зокрема Tokyo Disney Resort та Shanghai Disneyland, системи

розпізнавання облич дозволяють персоналізувати взаємодію з відвідувачами, рекомендувати атракціони та оптимізувати керування чергами. Це досягається завдяки аналізу відеоданих із допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

Окремої уваги заслуговує розвиток емоційно-чутливого штучного інтелекту, який здатний адаптувати інформацію відповідно до емоційного стану користувача. Наприклад, прототип EmoTgr, створений із використанням методів глибокого навчання та розпізнавання міміки, пропонує аудіогіди, які змінюють стиль подачі інформації залежно від настрою, рівня зацікавленості та енергії користувача.

Впровадження описаних технологій штучного інтелекту демонструє суттєвий позитивний вплив на ключові показники туристичної галузі. Зокрема, аналіз ефективності різних ШІ-інструментів підтверджує зростання задоволеності клієнтів та оптимізацію операційних процесів. Детальні статистичні дані щодо впливу конкретних категорій штучного інтелекту на розвиток туризму наведено у таблиці 1, яку сформовано на основі аналізу праці [3].

Таблиця 1 – Вплив ШІ в туристичній сфері

Сфери застосування ШІ	Зростання задоволеності клієнтів (%)	Покращення операційної ефективності (%)	Зниження впливу на довкілля (%)
Рекомендаційні системи на базі ШІ	80	70	40
ШІ-чат-боти та віртуальні помічники	75	65	30
Туристичні гідн з доповненою реальністю	85	50	20
Smart-управління туризмом на основі ШІ	70	85	60
Оптимізація сталого розвитку за допомогою ШІ	65	55	80

Проте інтеграція штучного інтелекту в туристичну сферу супроводжується низкою етичних і соціальних викликів, зокрема проблемами алгоритмічної упередженості, конфіденційності даних та зменшення ролі людської взаємодії. Системи штучного інтелекту, які навчаються на обмежених або нерепрезентативних наборах даних, можуть відтворювати або посилювати існуючі соціальні стереотипи, що призводить до несправедливих або неточних рекомендацій для окремих груп користувачів. Це негативно впливає на якість сервісів і знижує

рівень довіри до цифрових туристичних платформ.

Однією з найбільш актуальних проблем є конфіденційність персональних даних. Сучасні туристичні системи, включаючи чат-боти, системи геолокації та технології розпізнавання облич, збирають значний обсяг персональної інформації користувачів. У багатьох випадках механізми отримання згоди користувачів або пояснення способів використання даних залишаються недостатньо прозорими, що створює ризики порушення права на приватність і може призводити до несанкціонованого використання інформації.

Крім того, широке впровадження штучного інтелекту створює ризик поступового заміщення людської участі у сфері обслуговування. Використання автоматизованих систем може зменшити рівень персоналізації, автентичності та емоційної складової взаємодії, які є важливими елементами туристичного досвіду. У зв'язку з цим науковці наголошують на необхідності впровадження підходів, орієнтованих на співпрацю людини та штучного інтелекту, а не на повну автоматизацію процесів.

Для мінімізації зазначених ризиків дослідники пропонують низку практичних заходів. Зокрема, рекомендується використовувати різноманітні та репрезентативні набори даних для зменшення алгоритмічної упередженості, забезпечувати прозорість алгоритмів і зрозумілі механізми отримання згоди користувачів на обробку даних, а також впроваджувати системи управління даними, що відповідають чинним правовим і етичним стандартам.

Висновки. У постійно мінливій туристичній галузі штучний інтелект (ШІ) постає як трансформаційна сила. Від персоналізації туристичного досвіду до оптимізації операційної ефективності – вплив штучного інтелекту є значним і багатограним.

Загалом роль інтелектуальних інформаційних систем на основі штучного інтелекту в туризмі є багатогранною, поєднуючи значні можливості розвитку з рядом проблем, що потребують стратегічного підходу для забезпечення технологічного, інклюзивного та сталого майбутнього туристичної галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mishra, D., Das, S., & Patnaik, R. (2024). Application of AI technology for the development of destination tourism towards an intelligent information system. *Economic Affairs*, 69(2), 1083–1095.
2. Nugroho, I. S., Priyanto, D., & Purnama, Y. (2024). Exploring the role of artificial intelligence (AI) in designing and optimizing personalization strategies to enhance customer experience in the tourism industry. *Technology and Society Perspectives (TACIT)*, 2(3), 292–298.
3. Leka, E., Aliti, A., Lamani, L., & Hoxha, E. (2024). *The role of artificial intelligence in transforming tourism: Enhancing personalization, engagement, and sustainability*. Polytechnic University of Tirana.

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ СЕМАНТИЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Лістинг В.1 – Реалізація методу K-means для семантичного групування локацій

```

const createSemanticKMeans = (k, options = {}) => {
  const maxIterations = options.maxIterations || 100;
  const tolerance = options.tolerance || 1e-4;
  const weights = options.weights || {
    price: 1.5,
    duration: 1.0,
    category: 2.0,
  };

  let centroids = [];
  let vocabulary = [];

  const vectorize = (locations) => {
    const allCategories = new Set();
    locations.forEach((loc) => {
      if (Array.isArray(loc.categories)) {
        loc.categories.forEach((c) =>
          allCategories.add(c.toLowerCase()));
      }
    });
    vocabulary = Array.from(allCategories);

    let minPrice = Infinity,
        maxPrice = -Infinity;
    let minDur = Infinity,
        maxDur = -Infinity;

    locations.forEach((loc) => {
      if (loc.price < minPrice) minPrice = loc.price;
      if (loc.price > maxPrice) maxPrice = loc.price;
      if (loc.duration < minDur) minDur = loc.duration;
      if (loc.duration > maxDur) maxDur = loc.duration;
    });

    return locations.map((loc) => {
      const normPrice = maxPrice > minPrice ? (loc.price -
minPrice) / (maxPrice - minPrice) : 0;
      const normDur = maxDur > minDur ? (loc.duration - minDur)
/ (maxDur - minDur) : 0;

      const catVector = vocabulary.map((cat) =>

```

```

        (loc.categories || []).map((c) =>
c.toLowerCase()).includes(cat) ? 1 : 0,
    );

    return {
        original: loc,
        vector: { price: normPrice, duration: normDur,
categories: catVector },
    };
});
};

const calculateDistance = (v1, v2) => {
    let sum = 0;
    sum += weights.price * Math.pow(v1.price - v2.price, 2);
    sum += weights.duration * Math.pow(v1.duration -
v2.duration, 2);

    let catSum = 0;
    for (let i = 0; i < vocabulary.length; i++) {
        catSum += Math.pow(v1.categories[i] - v2.categories[i],
2);
    }
    sum += weights.category * catSum;

    return Math.sqrt(sum);
};

const initCentroidsPlusPlus = (data) => {
    const initialCentroids = [];
    initialCentroids.push(data[Math.floor(Math.random() *
data.length)].vector);

    for (let i = 1; i < k; i++) {
        const distances = data.map((point) => {
            const minDist = Math.min(
                ...initialCentroids.map((c) =>
calculateDistance(point.vector, c)),
            );
            return minDist * minDist;
        });
    }

    const sumDistances = distances.reduce((a, b) => a + b, 0);
    let randomVal = Math.random() * sumDistances;

    for (let j = 0; j < distances.length; j++) {
        randomVal -= distances[j];
        if (randomVal <= 0) {
            initialCentroids.push(data[j].vector);
            break;
        }
    }
}

```

```

    }
  }
  return initialCentroids;
};

const cluster = (locations) => {
  if (locations.length < k) {
    throw new Error(`Для ${k} днів потрібно щонайменше ${k}
локацій.`);
  }

  const data = vectorize(locations);
  centroids = initCentroidsPlusPlus(data);

  let assignments = new Array(data.length).fill(-1);
  let iteration = 0;
  let shift = Infinity;

  while (iteration < maxIterations && shift > tolerance) {
    iteration++;
    let newAssignments = new Array(data.length);

    for (let i = 0; i < data.length; i++) {
      let minDist = Infinity;
      let bestCluster = -1;
      for (let c = 0; c < k; c++) {
        const dist = calculateDistance(data[i].vector,
centroids[c]);
        if (dist < minDist) {
          minDist = dist;
          bestCluster = c;
        }
      }
      newAssignments[i] = bestCluster;
    }
    assignments = newAssignments;

    const newCentroids = Array(k)
      .fill(0)
      .map(() => ({
        price: 0,
        duration: 0,
        categories: new Array(vocabulary.length).fill(0),
        count: 0,
      }));

    for (let i = 0; i < data.length; i++) {
      const clusterId = assignments[i];
      const vec = data[i].vector;

      newCentroids[clusterId].price += vec.price;

```

```

        newCentroids[clusterId].duration += vec.duration;
        for (let j = 0; j < vocabulary.length; j++) {
            newCentroids[clusterId].categories[j] +=
vec.categories[j];
        }
        newCentroids[clusterId].count++;
    }
    shift = 0;
    for (let c = 0; c < k; c++) {
        if (newCentroids[c].count === 0) continue;

        const updatedCentroid = {
            price: newCentroids[c].price / newCentroids[c].count,
            duration: newCentroids[c].duration /
newCentroids[c].count,
            categories: newCentroids[c].categories.map((val) =>
val / newCentroids[c].count),
        };

        shift += calculateDistance(centroids[c],
updatedCentroid);
        centroids[c] = updatedCentroid;
    }
}

const resultClusters = Array(k)
    .fill(0)
    .map(() => []);
for (let i = 0; i < data.length; i++) {
    resultClusters[assignments[i]].push(data[i].original);
}

return resultClusters;
};

return {
    cluster,
};
};
module.exports = { createSemanticKMeans };

```

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛЯ ГЕОПРОСТОРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Лістинг Д.1 – Реалізація методу DBSCAN з використанням метрики Гаверсину

```
const createDBSCAN = (eps, minPts) => {

  const calculateDistance = (p1, p2) => {
    const R = 6371e3;
    const dLat = ((p2.lat - p1.lat) * Math.PI) / 180;
    const dLng = ((p2.lng - p1.lng) * Math.PI) / 180;
    const a =
      Math.sin(dLat / 2) * Math.sin(dLat / 2) +
      Math.cos((p1.lat * Math.PI) / 180) *
        Math.cos((p2.lat * Math.PI) / 180) *
        Math.sin(dLng / 2) *
        Math.sin(dLng / 2);
    const c = 2 * Math.atan2(Math.sqrt(a), Math.sqrt(1 -
a));
    return R * c;
  };

  const getNeighbors = (point, data) => {
    const neighbors = [];
    for (let i = 0; i < data.length; i++) {
      if (calculateDistance(point, data[i]) <= eps) {
        neighbors.push(i);
      }
    }
    return neighbors;
  };

  const filter = (data) => {
    const status = new Array(data.length).fill(0);
    const clusters = [];
    let clusterCount = 0;

    for (let i = 0; i < data.length; i++) {
      if (status[i] !== 0) continue;

      const neighbors = getNeighbors(data[i], data);

      if (neighbors.length < minPts) {
        status[i] = -1;
        continue;
      }
    }
  };
};
```

```

clusterCount++;
status[i] = clusterCount;
clusters[clusterCount - 1] = [data[i]];

const queue = [...neighbors];
for (let j = 0; j < queue.length; j++) {
  const neighborIdx = queue[j];

  if (status[neighborIdx] === -1) {
    status[neighborIdx] = clusterCount;
    clusters[clusterCount -
1].push(data[neighborIdx]);
  }

  if (status[neighborIdx] !== 0) continue;

  status[neighborIdx] = clusterCount;
  clusters[clusterCount - 1].push(data[neighborIdx]);

  const nextNeighbors =
getNeighbors(data[neighborIdx], data);
  if (nextNeighbors.length >= minPts) {
    for (let n = 0; n < nextNeighbors.length; n++) {
      if (!queue.includes(nextNeighbors[n])) {
        queue.push(nextNeighbors[n]);
      }
    }
  }
}

return {
  clusters,
  noise: data.filter((_, idx) => status[idx] === -1),
  allPointsCount: data.length,
  filteredCount: clusters.flat().length,
};
};

return { filter };
};

module.exports = { createDBSCAN };

```