

Міністерство освіти і науки України
Університет митної справи та фінансів

Факультет інноваційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: «Розробка сучасних методів побудови інтерактивного ресурсу
картографічної моделі»

Виконав: студент групи ІПЗ23-1зм

Спеціальність

121 Інженерія програмного забезпечення

Скряга Є.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.е.н. Яковенко Т. Ю.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент Дніпровський державний

технічний університет

(місце роботи)

доцент кафедри математичного

моделювання та системного аналізу

(посада)

к.т.н., доц. Волосова Н.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Дніпро – 2025

АНОТАЦІЯ

Скряга Є.Є. Розробка сучасних методів побудови інтерактивного ресурсу картографічної моделі.

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» – Університет митної справи та фінансів, Дніпро, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробленню інтерактивного ресурсу картографічної моделі, що дозволяє ефективно візуалізувати, аналізувати та інтегрувати просторові дані для розв'язання прикладних задач у різних сферах діяльності. У роботі проведено аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку інтерактивних картографічних ресурсів, зокрема їх ролі у візуалізації географічної інформації та аналізі просторових даних. Виявлено, що інтерактивні ресурси мають суттєві переваги порівняно з традиційними статичними картами завдяки динамічній взаємодії з користувачем, можливості інтеграції даних у реальному часі та розширеним функціональним можливостям.

Об'єктом дослідження є інтерактивні картографічні ресурси, які використовуються для аналізу та візуалізації просторових даних. Предметом дослідження виступає методологія розроблення інтерактивного ресурсу, що забезпечує високу функціональність, зручність та гнучкість у роботі з географічною інформацією.

Метою роботи є розроблення інтерактивного ресурсу картографічної моделі, що дозволяє ефективно візуалізувати, аналізувати та інтегрувати просторові дані для розв'язання прикладних задач у різних сферах діяльності.

Ключові слова: інтерактивні картографічні ресурси, візуалізація просторових даних, геопросторовий аналіз, веброботка, Leaflet, D3.js, географічна інформація, інтерактивність.

ABSTRACT

Skriaha Ye. Ye. Development of modern methods for building an interactive resource of a cartographic model.

Diploma thesis for obtaining a master's degree in specialty 121 «Software Engineering» – University of Customs and Finance, Dnipro, 2025.

The master's thesis is devoted to the development of an interactive resource of a cartographic model that allows you to effectively visualize, analyze and integrate spatial data to solve applied problems in various fields of activity. The paper analyzes the current state and trends in the development of interactive mapping resources, in particular, their role in the visualization of geographic information and analysis of spatial data. It is found that interactive resources have significant advantages over traditional static maps due to dynamic interaction with the user, the ability to integrate data in real time and advanced functionality.

The object of the study is interactive mapping resources used to analyze and visualize spatial data. The subject of the study is the methodology of developing an interactive resource that provides high functionality, convenience and flexibility in working with geographic information.

The main goal of the work is to create an interactive resource that combines modern web development technologies with geospatial analysis tools to solve applied problems in such areas as urban planning, environmental monitoring, logistics, education and tourism.

Keywords: interactive mapping resources, spatial data visualization, geospatial analysis, web development, Leaflet, D3.js, geographic information, interactivity.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Сучасний стан і тенденції розвитку інтерактивних картографічних ресурсів	8
1.2 Статичні картографічні моделі	13
1.3 Аналіз вимог до сучасних інтерактивних картографічних ресурсів	17
1.4 Аналіз сучасних досліджень	22
1.5 Висновки до першого розділу	31
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕРАКТИВНОГО РЕСУРСУ КАРТОГРАФІЧНОЇ МОДЕЛІ	34
2.1 Формулювання технічних вимог до інтерактивного ресурсу	34
2.2 Інтеграція з зовнішніми сервісами	38
2.3 Вебтехнології HTML, CSS, JavaScript	41
2.4 Геоінформаційні сервіси	46
2.5 Системи управління базами даних для просторової інформації	51
2.6 Висновки до другого розділу	55
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	57
3.1 Постановка та мета роботи	57
3.2 Завдання на реалізацію	57
3.3 Структура додатку	58
3.4 Опис використаних технологій	61
3.5 Процес роботи інтерактивного ресурсу.....	63
3.6 Тестування програмного забезпечення.....	66
3.7 Висновки до третього розділу	75
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТКИ.....	82

ВСТУП

Сучасний розвиток інформаційних технологій докорінно змінює підходи до збирання, обробки та візуалізації даних, включаючи географічну інформацію. Картографічні моделі, як важливий інструмент для аналізу просторових даних, стають дедалі інтерактивнішими та доступнішими завдяки інтеграції цифрових технологій [1]. У цьому контексті розроблення інтерактивного ресурсу картографічної моделі набуває особливої актуальності. Це зумовлено зростанням попиту на інтерактивні інструменти, що дозволяють не лише пасивно отримувати інформацію, а й активно взаємодіяти з даними для прийняття обґрунтованих рішень.

Актуальність теми дослідження зумовлена потребою у створенні сучасних інструментів для ефективної роботи з географічною інформацією. Традиційні методи представлення картографічних даних, такі як друковані карти або статичні цифрові моделі, не завжди відповідають вимогам сучасного користувача. Натомість інтерактивні ресурси відкривають нові можливості для аналізу, моделювання та прогнозування, забезпечуючи швидкий доступ до великого обсягу інформації, адаптацію до індивідуальних потреб користувачів та інтеграцію з іншими інформаційними системами.

Метою роботи є розроблення інтерактивного ресурсу картографічної моделі, що дозволяє ефективно візуалізувати, аналізувати та інтегрувати просторові дані для розв'язання прикладних задач у різних сферах діяльності.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз існуючих підходів і технологій створення інтерактивних картографічних ресурсів;
- описати технічні вимоги до інтерактивного ресурсу та розробити концепцію його структури;

- реалізувати інтерактивну картографічну модель із використанням сучасних технологій веброзробки;
- перевірити функціональність та ефективність ресурсу шляхом тестування на прикладних задачах;
- оцінити можливості адаптації розробленого ресурсу для різних галузей.

Об'єктом дослідження є інтерактивні картографічні ресурси, які використовуються для аналізу та візуалізації просторових даних.

Предметом дослідження виступає методологія розроблення інтерактивного ресурсу картографічної моделі, що дозволяє забезпечити зручність, гнучкість та високу функціональність у роботі з географічною інформацією.

У процесі дослідження застосовувалися такі методи:

- аналіз та синтез літературних джерел для визначення сучасного стану проблеми;
- порівняльний аналіз технологій створення інтерактивних картографічних моделей;
- методи системного підходу для формулювання технічних вимог;
- експериментальний підхід для перевірки функціональності розробленого ресурсу.

Практична значимість роботи полягає в тому, що розроблений інтерактивний ресурс може бути використаний у різних галузях, таких як міське планування, екологічний моніторинг, логістика, туризм та освіта. Його застосування сприятиме підвищенню ефективності прийняття рішень, що ґрунтуються на аналізі географічних даних, та популяризації використання картографічних інструментів серед широкого кола користувачів.

Наукова новизна роботи полягає у створенні інтерактивного ресурсу, який поєднує інноваційні технології візуалізації та управління просторовими

даними із сучасними вебінтерфейсами, що забезпечує новий рівень доступності та функціональності картографічних моделей.

Кваліфікаційна робота спрямована на вирішення актуальних задач інтерактивного картографування та є важливим внеском у розвиток інструментів для аналізу і візуалізації географічної інформації.

Структура кваліфікаційної роботи магістра. Кваліфікаційна робота складається з трьох розділів. Обсяг роботи – 91 сторінка. Кваліфікаційна робота містить 25 рисунків. Список використаних джерел складається з 15 посилань.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сучасний стан і тенденції розвитку інтерактивних картографічних ресурсів

Розвиток інтерактивних картографічних ресурсів значно розвинувся з розвитком цифрових технологій, аналітики геопросторових даних і проектування, орієнтованого на користувача. Наразі ці ресурси унікально інтегрують системи геопросторової інформації, канали даних у реальному часі та складні методи рендерингу, які забезпечують динамічний та інтуїтивно зрозумілий досвід користувача [1]. Це справді змінило спосіб доступу, інтерпретації та використання інформації про космос у багатьох різноманітних дисциплінах, таких як міське планування, управління навколишнім середовищем, навігація та охорона здоров'я. Для прикладу на рисунку 1.1 наведено сервіс, який використовує картографічну модель для визначення реальних розмірів країн, зважаючи на проєкцію Меркатора.



Рисунок 1.1 – Сервіс з використанням картографічної моделі

Центральним для розвитку інтерактивної картографії є покращений доступ до геопросторових даних. Ініціативи з відкритими даними та збільшення супутникових систем дистанційного зондування, якими керують державні організації та приватні підприємства, демократизували доступ до геопросторових даних високої роздільної здатності. Ці дані не тільки багаті деталями, але й часто оновлюються, що дозволяє створювати карти, що відображають поточні умови. OpenStreetMap є найкращим прикладом того, чого можна досягти, коли спільне картографування об'єднується разом із внесками окремих учасників та організацій, які створюють комплексний картографічний ресурс, що постійно розвивається [1, 2].

Цей перехід від статичного до інтерактивного відображення був зумовлений технологічним прогресом у веброзробці та мобільних комп'ютерах. Сучасні стандарти, такі як HTML5, CSS3 і JavaScript, а також бібліотеки Leaflet і Mapbox дозволяють створювати в значній мірі адаптивні, естетично привабливі, багатофункціональні картографічні програми. Ці бібліотеки підтримують функції масштабування, панорамування та перемикання шарів, щоб надати користувачам безпрецедентний рівень контролю над просторовим дослідженням. Крім того, векторна графіка підняла цю чіткість і масштабованість на щабель вище для карт, щоб підтримувати чітку інформацію на широкому діапазоні пристроїв і роздільних здатностей.

Ще одна трансформаційна тенденція – інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання в картографічні системи. Ці технології забезпечують автоматичне виділення функцій, прогнозне моделювання та персоналізовані рекомендації на карті. Наприклад, алгоритми можуть аналізувати історичні моделі руху, щоб прогнозувати затори або визначати оптимальні маршрути, динамічно адаптуючись до мінливих умов [1-3]. Подібним чином обробка природної мови, керована ШІ, дозволила користувачам взаємодіяти з картами

через розмовні інтерфейси, ще більше спрощуючи доступ до складної просторової інформації.

Конвергенція аналітики даних у реальному часі та картографії відкрила нові перспективи в галузі моніторингу та механізмів реагування на динамічні явища. Такі програми, як системи боротьби зі стихійними лихами, покладаються на живу інформацію від датчиків, безпілотників і супутників для отримання корисної інформації в разі надзвичайної ситуації. Розповсюдження лісової пожежі, повені чи поширення пандемії на інтерактивній карті найкраще показує, як такі інструменти можуть інформувати рішення в критичних ситуаціях. Такі системи можуть включати прогнозне моделювання, таким чином дозволяючи зацікавленим сторонам розглянути всі можливі результати та підготуватися до них.

Інша сфера, яка змінює інтерактивність картографічних ресурсів, включає доповнену та віртуальну реальність. Ці різновиди захоплюючих середовищ роблять сприйняття просторових даних тривимірним і дають нове розуміння складних географічних зв'язків. Містобудівники могли бачити пропозиції нової забудови в реальному середовищі, тоді як археологи могли орієнтуватися в реконструйованих стародавніх поселеннях [3]. Це також забезпечить кращу взаємодію з користувачами та допоможе їм досягти інтуїтивного розуміння просторових явищ.

Наразі сучасна картографія в основному базується на принципах проектування, орієнтованого на користувача: розробники все більше наголошують на зручності використання та доступності. Варіанти персоналізації включають все, починаючи від різноманітних параметрів колірної схеми й закінчуючи додаванням унікальних анотацій для користувача. Згідно з найкращими практиками доступності, карти можна буде використовувати за допомогою програми зчитування з екрана разом з іншими інструментами для включення тексту заміщення для візуальних елементів на

карті. З цих міркувань приналежність відображає загальні зміни в суспільстві в прагненні до цифрової справедливості [2, 3].

Постійний розвиток пристроїв ще більше розширив доступ до інтерактивних картографічних ресурсів. Мобільні програми використовують послуги на основі визначення місцезнаходження, використовуючи GPS і датчики руху для навігації та локального пошуку. Контекстно-залежні системи відображення можуть надавати більш персоналізований вміст відповідно до вподобань і поведінки користувача, таким чином підвищуючи зручність використання результатів. Носимі пристрої, такі як розумні годинники, створили компактні інтерфейси просторових даних і дозволили користувачам безперебійно працювати з картами під час певних заходів на свіжому повітрі, таких як походи чи їзда на велосипеді.

Одним із важливих аспектів інтерактивної картографії є співпраця на різних платформах, що дозволяє користувачам робити внески, обмінюватися та редагувати геопросторові дані. Культура участі, яка це створює, дозволяє активно взаємодіяти з нанесеною на карту спільнотою та підтримує карти з актуальною точністю. Приклади включають краудсорсингові карти реагування на катастрофи, де волонтери позначають місця ефекту за допомогою спостереження на землі, і проекти спільного моніторингу навколишнього середовища, де громадяни роблять спостереження за біорізноманіттям або рівнями забруднення [2-4]. Етичні міркування все більше стають серйозною проблемою при розробці картографічних ресурсів, що стосується конфіденційності, безпеки даних і представлення. Збирання та розповсюдження даних про місцезнаходження робить це важливим питанням конфіденційності користувачів, для якого має бути гарантований надійний захист, щоб уникнути зловживання. Крім того, до представлення чутливих або спірних сфер слід підходити обережно, щоб не зберегти упередженості чи неточності. Розробники та картографи все частіше використовують етичні основи для відповідального вирішення цих проблем.

Ці ресурси перетворилися на значні засоби аналізу та комунікації як в академічній, так і в професійній сферах. Дослідники використовують ці системи для моделювання просторових моделей, перевірки гіпотез і передачі результатів у зрозумілий і привабливий спосіб. Компанії використовують геопросторову інформацію для аналізу ринку, оптимізації логістики та залучення клієнтів. У зв'язку з цим підкреслюється універсальність і корисність інтерактивних карт у різних секторах.

У найближчому майбутньому нові технології, такі як периферійні обчислення та блокчейн, продовжуватимуть сприяти розвитку інтерактивних картографічних ресурсів [3, 4]. Граничні обчислення можуть допомогти підвищити продуктивність картографування в реальному часі, зменшивши затримку та попит на пропускну здатність завдяки обробці даних ближче до джерела. Технологія блокчейн може забезпечити певний ступінь автентичності та цілісності геопросторових даних, які можуть бути використані для створення довіри та надійності до такого роду даних.

Іншим перспективним напрямком є інтеграція Інтернету речей та інтерактивних карт. Від датчиків погоди до підключених транспортних засобів, різні пристрої IoT постійно генерують величезні обсяги даних у космосі, які можуть жити картографічні системи. У цьому відношенні ці програми можуть служити візуалізуючими інтерфейсами для обробки та керування цими потоковими даними, дозволяючи користувачам ефективно відстежувати та контролювати відповідні мережі IoT [4].

Загалом, нові інтерактивні картографічні ресурси представляють собою з'єднання технологічних інновацій, дизайну, орієнтованого на користувача, і співпраці. Крім того, інструменти вийшли за межі статичного представлення географії до динамічних платформ для дослідження, аналізу та прийняття рішень. Оскільки ця галузь продовжує розвиватися, застосування інтерактивної картографії обмежене лише уявою. Таким чином, у пошуку

рішень для складних глобальних проблем і вдосконалення розуміння світу можуть виникнути захоплюючі можливості.

1.2 Статичні картографічні моделі

Основними будівельними блоками картографії є статичні картографічні моделі, що представляють синтез просторових даних у двовимірному фіксованому вигляді для легкої візуалізації географічної інформації. Динамічні чи інтерактивні карти менше залежать від ясності, точності та естетичної узгодженості в презентації [4, 5]. Таким чином, ці карти становлять важливе середовище, за допомогою якого складні просторові відносини передаються в спрощеному та доступному форматі, що дозволяє їх різноманітне застосування в освіті, дослідженнях, плануванні та комунікації з громадськістю. Їх незмінна актуальність говорить про складну взаємодію між картографічною теорією, географічними даними та візуальним представленням.

В основі статичних картографічних моделей лежить їхня незмінність після їх створення. Вони представляють собою миттєве відображення географічних явищ, мить у часі, зібрану у структуру, візуально складену разом. Ця за своєю суттю статичність накладає обмеження на дизайн і також надає особливі переваги. Усуваючи мінливість і притаманну складність інтерактивної карти, статичні моделі звільняють картографа від створення чіткого, недвозначного представлення просторової інформації. Однією з ознак статичних картографічних моделей є реалізація відбивної символізації. Вибір символів, кольору та інших візуальних змінних є дуже важливим у процесі кодування інформації, щоб зробити її доступною та значущою для цільової аудиторії. Символи повинні досягти балансу між абстракцією та специфікацією, щоб вони були легко впізнаваними, але справжніми представниками наборів даних [5]. Наприклад, точкові символи можуть

позначати міста або відомі місця, тоді як символи ліній можуть позначати транспортні мережі або гідрографічні об'єкти. Завданням картографа є переконатися, що ці символи є інтуїтивно зрозумілими та правильними відповідно до культури, в якій вони будуть інтерпретуватися, і без двозначностей, викликаних різними контекстами тлумачення.

Більшість колірних схем намагаються використовувати природні асоціації, наприклад використання синього для водойм і зеленого для рослинності, щоб когнітивні асоціації могли покращити читабельність карт. Ці безперервні візуалізації даних часто використовують послідовні та розбіжні колірні рамки, які показують висоту або щільність населення з градієнтами, які інтуїтивно пропонують вищі чи нижчі значення. Основні принципи теорії кольору, такі як контраст, гармонія та насиченість, використовуються для керівництва процесом відбору, щоб переконатися, що кінцевий продукт є візуально цікавим, але не перевантажує глядача [6]. Природа цільової аудиторії та передбачуване використання карти також допомагає додатково обґрунтувати такі рішення, оскільки карти, створені для наукової аудиторії, можуть мати наголос на точності, тоді як карти для широкого загалу більше схиляються до простоти та доступу.

Статичні картографічні моделі також багато в чому використовують масштаб і узагальнення. Масштаб означає рівень деталізації карти: чим більший масштаб, тим дрібніші деталі, а чим менший масштаб, тим ширший огляд.

Узагальнення – це неминучий процес, який передбачає спрощення або виключення вибраних функцій, щоб зберегти розбірливість карти в призначеному масштабі. Процес відбору та спрощення знову ж таки залишається на розсуд картографа, іноді на основі призначення карти. Наприклад, на дрібномасштабній політичній карті будуть пропущені другорядні дороги та населені пункти, щоб підкреслити державні кордони,

тоді як на великомасштабній топографічній карті будуть дуже детальні зображення як рельєфу, так і інфраструктури.

Іншим важливим складовим елементом статичних картографічних моделей є текст і маркування [6, 7]. Мітки надають важливий контекст, вони ідентифікують особливості та іноді надають додаткову інформацію, таку як вимірювання населення або висоти. Але ефективне розміщення цих міток вимагає обережності щодо розміщення, розміру та навіть стилю шрифту, оскільки неправильно розташовані або сильно насичені мітки шкодять картографічній чіткості.

Статичне картографічне моделювання глибоко вкорінене в принципах картографічного дизайну, які включають візуальну ієрархію, баланс і композицію. Візуальна ієрархія стосується процесу організації елементів карти таким чином, щоб спрямовувати увагу глядача, часто віддаючи пріоритет таким функціям, як заголовки, легенди та ключові символи. Баланс стосується розподілу візуальної ваги на карті, щоб жодна окрема область не виглядала непропорційно щільною або розрідженою. Композиція стосується загального дизайну карти, включаючи розміщення самої карти, заголовків та інший текст, а також допоміжні карти та графіки. Усі ці елементи разом створюють функціональні та красиві карти.

Базові дані для статичних картографічних моделей відрізняються так само, як і явища, які вони зображують. Ці джерела варіюються від зображень дистанційного зондування та даних GPS до історичних записів і польових досліджень. Прогрес у географічних інформаційних системах змінив компіляцію та аналіз просторових даних, дозволяючи картографам інтегрувати численні набори даних із ступенем точності, який неможливо було уявити в минулому. Програмне забезпечення ГІС пропонує потужні засоби для візуалізації даних, просторового аналізу та картографічного виведення, що спрощує процес створення карти, зберігаючи при цьому високі стандарти точності та деталізації [7]. Незважаючи на це, ці досягнення не роблять роль

картографа зайвою, оскільки людське судження все ще потрібне для інтерпретації даних, щоб усунути неоднозначності та прийняти проектні рішення.

Статичні картографічні моделі широко використовуються в таких дисциплінах, як географія, геологія, екологія, містознавство тощо (рис. 1.2). На академічних майданчиках вони служать освітній і дослідницькій меті, розкриваючи нові моделі та процеси простору. Вони допомагають прийняти рішення в державному управлінні, чітко та лаконічно показуючи демографічні, екологічні та інфраструктурні дані. З іншого боку, статична карта комерційно використовується в маркетингу, дослідженнях логістики, управлінні ресурсами, серед багатьох інших [7, 8]. Той факт, що вона є універсальною, а також її надійність робить статичну карту важливою для просторової комунікації, долаючи розрив між складними наборами даних і дієвою інформацією.

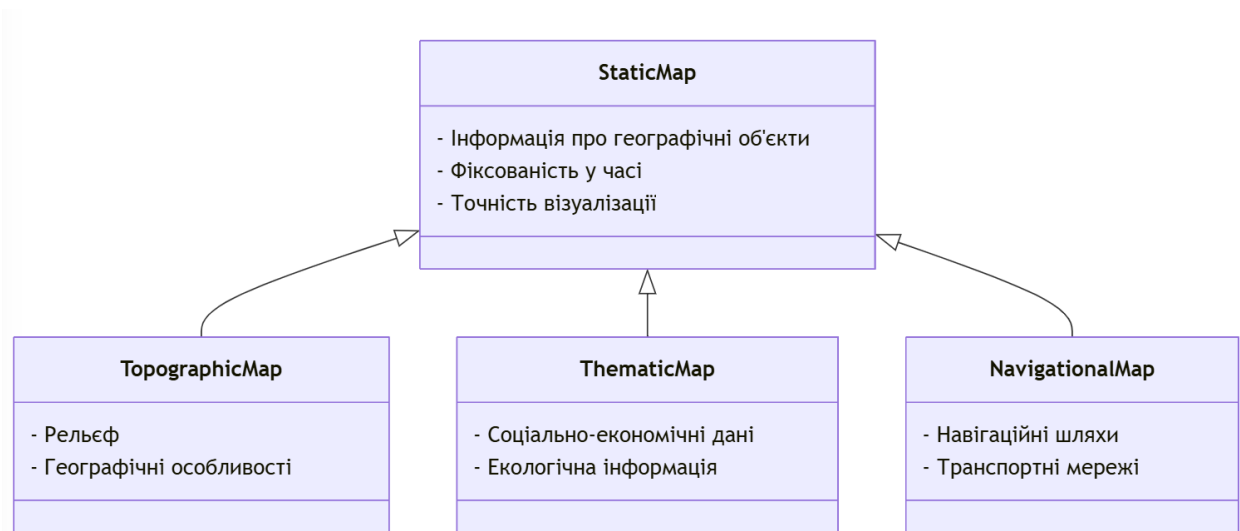


Рисунок 1.2 – Діаграма класифікації статичних карт

Однією з сильних сторін статичних картографічних моделей є те, що вони можуть викликати відчуття постійності та авторитету. Незважаючи на те, що багато цифрових карт регулярно переглядаються або налаштовуються, статична карта є постійним довідником, який користувач може переглянути

колись у майбутньому. Ця характеристика виявляється корисною в кількох сферах, які вимагають узгодженості, включаючи, але не обмежуючись ними, юридичну документацію, історичне архівування та освітні стандартизовані матеріали. Закріплюючи один момент у географічній інформації, статичні карти сприяють безперервності та стабільності просторових знань. Незважаючи на зазначені вище переваги, існують також деякі обмеження статичної картографічної моделі. Фіксований характер не дозволяє оновлювати в реальному часі, що робить його менш придатним для динамічних явищ, таких як дорожній рух або погодні умови [8, 9]. Більше того, узагальнення та абстрагування самі по собі є процесами з властивими компромісами, оскільки упущення певних деталей може маскувати нюанси або навіть вносити упередженість. Таким чином, роль картографа полягає в тому, щоб зменшити ці обмеження за допомогою продуманого дизайну та прозорості, щоб кінцевий продукт залишався точним і актуальним.

Підсумовуючи, можна підкреслити, що статичні картографічні моделі є нестаріючим і ключовим аспектом картографії, оскільки вони представляють потужний спосіб візуалізації та передачі географічної інформації. Ця довготривала актуальність є свідченням мистецтва та винахідливості картографів у поєднанні наукової дисципліни з творчим підходом до модних карт, які навчають, стимулюють і приносять задоволення. Оскільки технологія, безумовно, продовжуватиме розвиватися, ці принципи статичної картографії залишаться незмінними, щоб моделі могли мати подальше значення для розуміння та проходження складності світу.

1.3 Аналіз вимог до сучасних інтерактивних картографічних ресурсів

Аналіз сучасних умов і вимог до інтерактивних картографічних ресурсів є інтегральним підходом до розуміння того, як ці засоби ефективно відповідають різноманітним потребам різних груп користувачів. Оскільки

інтерактивні карти знаходять все більше застосування в таких різноманітних секторах, як міське планування та боротьба зі стихійними лихами до електронної комерції та туризму, їх створення керується суворим режимом функціональних, технічних вимог і вимог до зручності використання [12]. Це продиктовано технологічним розвитком, очікуваннями користувачів і складністю геопросторових даних – усе це вимагає ретельного вивчення, щоб переконатися, що отримані картографічні ресурси відповідатимуть вимогам сучасних користувачів.

Сучасні інтерактивні картографічні ресурси за своєю природою мають здатність інтегрувати та обробляти великі обсяги геопросторових даних у режимі реального часу, можливість, необхідна для забезпечення динамічного та орієнтованого на користувача досвіду. Основні геопросторові дані часто неоднорідні, походять із різних джерел, таких як супутникові зображення, пристрої GPS, канали соціальних мереж і урядові бази даних. Це розмаїття вимагає підтримки картографічними системами з різними форматами даних і стандартами з метою взаємозамінності. Під час інтеграції таких даних виникає кілька проблем: перевірка даних, узгодження та усунення просторових і часових невідповідностей. Ці виклики потребують надійних конвеєрів обробки даних і масштабованих архітектур, які не втрачають продуктивності під час обробки великомасштабних наборів даних.

Серед найбільш важливих поточних потреб у сучасних інтерактивних картографічних ресурсах головною проблемою є обробка в режимі реального часу (рис. 1.3) для додатків, які вимагають свіжих останніх оновлень даних, таких як моніторинг руху, погодних умов або систем реагування на надзвичайні ситуації. Це стане можливим завдяки застосуванню новітніх тенденцій у обчисленнях в пам'яті, розподіленій обробці та хмарному сховищі [13]. Ці технології дозволяють отримувати, аналізувати та візуалізувати геопросторові дані майже в реальному часі, дозволяючи користувачам інтерактивно досліджувати карти поточних умов. Інтеграція потоків даних у

реальному часі з прогностичною аналітикою робить це ще далі, розширюючи можливості картографічних ресурсів, щоб користувачі могли передбачати, що станеться в майбутньому, і приймати відповідні рішення.

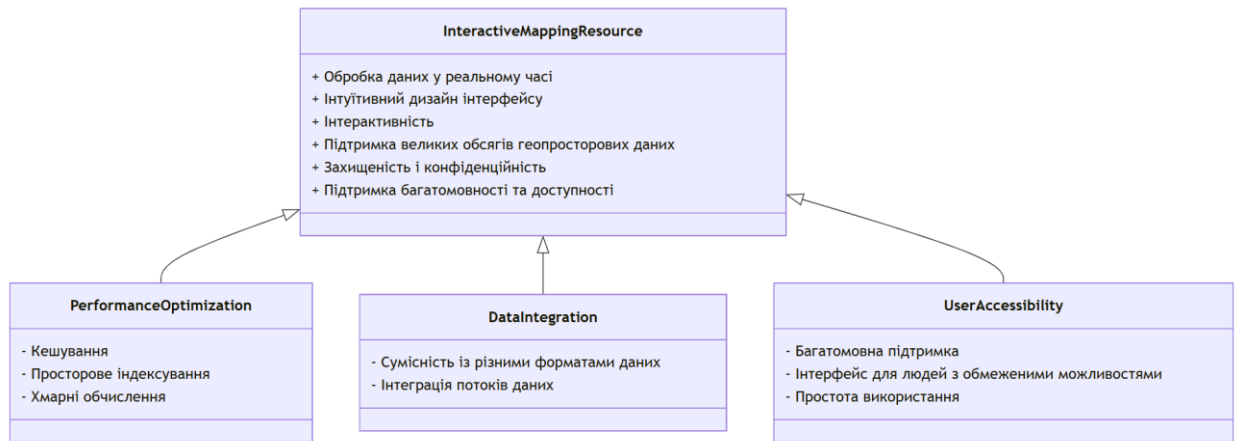


Рисунок 1.3 – Вимоги до сучасних інтерактивних картографічних ресурсів

Інші фактори можуть включати зручність використання, оскільки її потрібно розробляти для широкого кола користувачів із різною технічною підготовкою. Зручність використання зробить помітними ряд параметрів, включаючи інтуїтивно зрозумілий дизайн інтерфейсу, ефективну навігацію та доступність. Цей дизайн інтерфейсу повинен мати правильний баланс між естетичною привабливістю та функціональністю, щоб надати користувачам доступ до інформації та інтерпретації, що передається на карті. Він повинен забезпечувати механізми ефективної навігації – функції масштабування, панорамування та пошуку – для дослідження просторових даних у різних масштабах і рівнях деталізації. Потрібна багатомовна підтримка, дотримання стандартів вебдоступності та реалізація функцій, які можуть пристосуватися до користувачів з обмеженими можливостями, наприклад сумісність із програмами зчитування з екрана та регульований розмір тексту.

Інтерактивність є однією з рушійних особливостей сучасних картографічних ресурсів, що дозволяє користувачам досліджувати просторові

дані способами, неможливими на статичних картах, використовуючи різні функціональні можливості. Функції карти, які можна натиснути, можна використовувати для отримання додаткової інформації про місцезнаходження чи об'єкт, тоді як динамічні накладення дозволяють візуалізувати кілька рівнів даних, включаючи демографічну інформацію, фактори навколишнього середовища та мережі інфраструктури. Запити, керовані користувачем, дозволяють виконувати налаштований аналіз шляхом визначення просторових екстентів, фільтрації даних за атрибутами та виконання просторового аналізу, такого як обчислення близькості та створення буфера. Ці інтерактивні можливості підвищують корисність картографічних ресурсів, роблячи їх основними для прийняття рішень і просторового аналізу.

Для того, щоб сучасні картографічні ресурси були інтерактивними, продуктивність стає життєво важливою вимогою, відповідно до якої карти повинні завантажуватися швидше та бути в змозі реагувати на запити користувачів [12-14]. Методи, задіяні в оптимізації продуктивності, включають кешування даних, просторове індексування та сервіси мозаїчних карт. Кешування даних зменшує затримку доступу до даних, що зберігаються в пам'яті, для даних, які часто використовуються. Просторова індексація пришвидшує обробку запитів на основі даних, попередньо організованих у такі форми, як R-дерева та Quad-дерева. Сервіси мозаїчних карт поділяють карту на попередньо розділені плитки, таким чином дозволяючи користувачам завантажувати лише частини карти, видимі у вікнах перегляду. У сукупності ці методи поєднуються з ефективною обробкою на стороні сервера та мережами доставки вмісту, які гарантують, що інтерактивні карти дають користувачам відчуття чутливості.

Заходи безпеки також включають використання різних механізмів автентифікації та авторизації, таких як RBAC і двофакторна автентифікація, щоб уникнути несанкціонованого доступу до даних і послуг. Методи шифрування даних у стані спокою та під час передачі використовуються для

забезпечення безпеки від перехоплення та підробки. Міркування щодо конфіденційності передбачають уникання збору та зберігання особистої інформації, де це не є суворо необхідним, і впровадження методів анонімізації з метою додаткового захисту особи користувача [13, 14]. Тому в цьому відношенні необхідно дотримуватися нормативних актів щодо захисту даних, таких як GDPR, щоб забезпечити обробку геопросторових даних у спосіб, який є етичним і законним.

На розвиток сучасних картографічних ресурсів дедалі більше впливатиме інтегроване використання передових технологій, зокрема штучного інтелекту, машинного навчання та доповненої реальності. AI і ML були застосовані для автоматизації завдань обробки, таких як виділення ознак із супутникових зображень і класифікація земельного покриття. Ці технології також надають інтелектуальні картографічні інструменти, які передбачають потреби користувачів, рекомендують відповідні шари даних і створюють індивідуальні візуалізації карт. Доповнена реальність покращує інтерактивність картографічних ресурсів завдяки накладенню на контекст фізичного світу, починаючи від можливості реалізації додатків щодо навігації в приміщеннях або покращених туристичних вражень. Подальший розвиток відкриває абсолютно новий потенціал у різноманітних нових способах вдосконалення інтелектуальних, захоплюючих та адаптивних стилів інтерактивного картографування.

Ще одна вимога, що виникає, стосується заклику до стійкості щодо картографічних ресурсів. Мінімізацію екологічних наслідків тут можна розглядати паралельно з розвитком геопросторових технологій. Приклади таких екологічних програм включають енергоефективні центри обробки даних, оптимізацію обчислювального робочого процесу з меншим споживанням енергії та перехід на відновлювані джерела енергії. Водночас картографічні ресурси можуть сприяти сталому застосуванню в захисті природного середовища: картографування гарячих точок біорізноманіття,

моніторинг вирубки лісів, моделювання наслідків зміни клімату [12, 14]. Таким чином, відповідно до принципів стійкості, сучасні картографічні ресурси можуть сприяти вирішенню найсерйозніших екологічних проблем, що стоять перед людством.

Нарешті, перелік вимог, які стосуються сучасних інтерактивних картографічних ресурсів, довгий і різноманітний: інтеграція даних, обробка в реальному часі, зручність використання, інтерактивність, візуальне представлення, продуктивність, безпека, конфіденційність, технологічна інтеграція та стійкість. Ці вимоги відображають багатогранний характер картографічних ресурсів і різноманітні потреби їх користувачів. Виконання цих вимог дозволяє розробляти та впроваджувати інструменти, які покращать здатність користувачів досліджувати, аналізувати та взаємодіяти з геопросторовою інформацією. Це, у поєднанні з технологічними інноваціями, які змінюють вигляд картографії, постійно розвиває вимоги до інтерактивних картографічних ресурсів, оскільки вони продовжують стимулювати інновації в розширенні меж, яких геопросторові технології можуть досягти, щоб відповісти на певні складні виклики.

1.4 Аналіз сучасних досліджень

Стаття [1] розглядає проблеми візуалізації просторових даних на малих екранах, таких як смартфони та смарт-годинники, що становить виклик для обчислювальної картографії. Існуючі інтерфейси для перегляду карт вимагають від користувачів частого наближення та віддалення, що є корисним для вибору потрібного масштабу карти, але менш ефективним для вирішення проблеми графічного захаращення, викликаного високою щільністю об'єктів. Зокрема, наближення на велику шкалу може призвести до втрати контексту. У цій роботі пропонуються нові методи зовнішнього маркування, що дозволяють користувачам переміщатися через щільно розташовані об'єкти,

зберігаючи при цьому фіксований масштаб карти. Представлено єдину модель, в якій мітки розташовуються на межі карти і з'єднуються з відповідними об'єктами за допомогою ліній-з'єднувачів. Оскільки екранний простір обмежений, маркування всіх об'єктів одночасно є непрактичним, тому в будь-який момент часу маркується лише частина об'єктів. Запропоновано кілька методів взаємодії, що дозволяють систематично змінювати поточний вибір об'єктів, забезпечуючи доступ користувача до всіх міток. Розрізняються три методи: користувач може переміщувати мітки вздовж нижньої частини карти або переглядати мітки по сторінках чи стосах. Запропоновано загальну алгоритмічну основу, яка дозволяє виразити різні варіанти методів взаємодії як оптимізаційні задачі в єдиному форматі. Розглянуто як точні алгоритми, так і швидкі прості евристики для розв'язування цих задач з урахуванням різних критеріїв, таких як рейтинг міток, загальна довжина ліній-з'єднувачів і відстань між ними. У експериментах з реальними даними оцінено ці алгоритми і обговорено три варіанти взаємодії, доводячи гнучкість запропонованої алгоритмічної основи.

У статті [2] розглядається проблема розробки ефективного способу відображення вибраної динамічної інформації географічного змісту на інтерактивній карті. Аналізуються різні підходи до розв'язання цієї проблеми, зокрема використання мови програмування Python, з вказівкою на їхні переваги та недоліки. Пропонується підхід, який дозволяє повністю вирішити задачу з високою ефективністю та мінімальними витратами часу і людських ресурсів. Цей підхід базується на моделі, що використовує методологію Data Science з п'яти етапів: отримання первинних даних, їх обробка, необхідні розрахунки, створення візуалізації та її поширення. Як джерело даних використовувалися відкриті дані з вебпорталу «Дія», розробленого Міністерством цифрової трансформації України, а також дані з Інституту національної пам'яті. Обробка даних полягала в тому, що кожному топонімові була прив'язана локалізація, і визначалося, чи підпадає він під закон про

декомунізацію. Оброблені дані були візуалізовані за допомогою веб-сервісу карт Google Maps. Кожен не декомунізований об'єкт було позначено на карті. Інтерактивна карта інтегрована в вебпортал Analytics-UA.

У статті [3] розглядаються проблеми інтерактивної сегментації, техніки, яка широко використовується для завдань маркування даних, де користувач надає кліки для позначення об'єктів інтересу. Кліки користувача перетворюються на карту відстаней, яка відіграє важливу роль в інтерактивній сегментації. Пропонується нова карта відстаней, що отримується шляхом комбінування результатів автоматичної сегментації з кліками користувача. Оскільки було встановлено, що кращий результат автоматичної сегментації веде до кращого результату інтерактивної сегментації, автори статті пропонують з'єднати оригінальне зображення з його обробленим зображенням, фільтрованим через Laplacian of Gaussian (LOG), для покращення результатів автоматичної сегментації. Крім того, для успішного застосування цієї методики необхідно мати правильні мітки, тому застосовується метод очищення даних для фільтрації зразків з неточними мітками, відомими як шумові мітки. Ефективність запропонованого методу оцінюється за допомогою набору даних з конкурсу TGS Salt Identification Challenge на Kaggle, і отримані результати показують, що за використання запропонованого алгоритму середнє значення IoU досягає 91,81% при лише одному кліку користувача.

Робота [4] представляє основну стратегію розробки мобільних додатків для створення цифрових геологічних карт. Цифрові геологічні карти зручніші у використанні порівняно з традиційними паперовими картами, оскільки вони є інтерактивними, самостійно керованими та легко оновлюються. Мобільні додатки для геологічних карт стали важливими інструментами для студентів-геологів, геоінженерів та навіть для широкої аудиторії. Проте, відсутність технічних методів і розробки програмного забезпечення для таких додатків досі залишається проблемою. У цьому дослідженні надано загальні

рекомендації щодо методів розробки баз даних і програмного забезпечення для створення мобільного додатка геологічної карти. Використовуване програмне забезпечення є відкритим кодом. База даних, що включає геологічну інформацію, просторові відносини і розподіл, а також базову карту Таїланду, була підготовлена за допомогою геоінформаційної системи (ГІС). Процес розробки гібридного додатка, що включає два відкриті фреймворки – Ionic та Angular, є ключовим для створення мобільного додатка, який відображає геологічні карти на мобільних пристроях. Для програмування використовувалися базові мовні навички, такі як HTML, CSS і JavaScript. У результаті цих кроків було створено мобільний додаток «DooHin», що відображає цифрову геологічну карту Таїланду масштабу 1:50000, доступну в магазинах додатків. Цей додаток є корисним і практичним для польових робіт, оскільки забезпечує інтерактивний досвід користувача, загальну геологічну інформацію та систему визначення місцезнаходження користувача.

Стаття [5] розглядає важливість використання просторового мислення та міркування у навчанні географії для розуміння та інтерпретації карт. Ефективне використання географічних карт є важливою навичкою, яку студенти повинні розвивати. Однак виявлено, що здатність студентів використовувати карти для опису та аналізу природних явищ і пошуку рішень географічних проблем є недостатньою. Однією з причин цієї недолугості є складність у сприйнятті карт, поданих у підручниках або довідниках, що зумовлено обмеженнями паперових карт. Сучасні технологічні картографічні додатки, такі як інтерактивні карти, карти на основі доповненої реальності, 3D карти тощо, є доступними, проте навколо них майже не існує навчальних заходів, що залишає студентів у нерозумінні того, як ці інструменти можна застосовувати в різних контекстах для вирішення проблем. GeoMaps – це інтерактивний додаток, що покликаний покращити навички сприйняття карт у студентів, включаючи здатність ідентифікувати, корелювати та синтезувати інформацію з різних перспектив на карті. Діяльності в GeoMaps базуються на

реальних географічних проблемах. Для вирішення цих проблем студенти можуть накладати кілька карт, щоб корелювати різні об'єкти, і вибирати відповідні фільтри для зосередження на конкретній інформації. Попередній відгук потенційних користувачів є обнадійливим, що спонукає до подальшого дослідження цієї ідеї в більш широкому контексті.

У статті [6] розглядається зростаюча кількість відтворених цифрових активів, які створюються по всьому світу для збереження культурної спадщини. Ці активи можуть бути використані в інтерактивних системах, таких як доповнена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR), для забезпечення ефективного доступу до культурної спадщини та навчання про неї. Однією з широко застосовуваних технік реконструкції є близькоспрямована фотограмметрія. Однак скановані моделі потребують обробки та оптимізації, перш ніж вони зможуть бути використані в інтерактивних системах, що вимагає серії процедур ретопології та випікання текстур для зменшення розміру моделей без втрати візуальної точності. Однак ручні процеси ретопології та випікання є складними. Тому важливою є ефективна оптимізація робочого процесу для використання активів культурної спадщини в інтерактивних системах. У статті представлено робочий процес оптимізації ретопології та випікання текстур з використанням безкоштовного та відкритого програмного забезпечення. Оцінки показують, що цей робочий процес відзначається високою ефективністю, універсальністю, простотою вивчення та низькими витратами. Ця робота вносить внесок у розвиток досліджень та практики в галузі збереження культурної спадщини.

У статті [7] розглядається проблема інтерактивного дослідження великих обсягів даних, коли не визначена чітка мета, оскільки таке вивчення часто ускладнюється через невизначеність у виборі структур даних чи стратегій індексації. Це також стосується фізики, зокрема вищої енергії, де величезний обсяг даних, що генеруються детекторами, зазвичай досліджується за допомогою C++ коду з пакетною обробкою, що створює

значну затримку. Інтерактивний інструмент, інтегрований у наявні системи управління даними, може значно підвищити їх зручність для користувачів. У статті надається огляд сучасного стану інтерактивного дослідження даних, яке повинно задовольняти три вимоги: доступ до сирих файлів даних, що зберігаються в розподіленому середовищі, та з розумною затримкою. Робота слідує за методологією систематичних оглядів, що підходить для збору та класифікації наявних досліджень. Підсумовуються результати після класифікації 242 статей, які відповідають критеріям відбору. Хоча існує багато запропонованих рішень для вирішення цієї проблеми різними способами, мало що з них має підтвердження в реальному використанні. Майже всі знайдені рішення покривають лише частину вимог, причому лише одне частково задовольняє всі три. Рішення для дослідження даних активно досліджуються, і зважаючи на постійне збільшення обсягу та різноманітності даних, це питання буде ставати ще складнішим. Існує потреба в рішенні, яке покривало б усі зазначені вимоги, і необхідні складові для цього вже існують.

У статті [8] пропонується інтерактивне картографування за допомогою диму. У цьому картографуванні користувач насолоджується променями, а не зображеннями. Користувач може змінювати колір променів, рухати їх та генерувати звук, взаємодіючи з променями за допомогою дотику.

Метою дослідження [9] є аналіз інтерактивних карт з використанням методу GeoJSON та без нього для нових підприємців Західної Яви. Процес дослідження складається з трьох етапів: аналізу коду, впровадження коду та тестування створеного коду з використанням GeoJSON і без нього. Результати дослідження показують, що використання GeoJSON для відображення даних на інтерактивній карті є швидшим, ніж без його застосування. Однак недоліком використання GeoJSON є те, що розробнику додатків доведеться більше часу витратити на написання коду для завантаження інтерактивної карти.

У статті [10] представлено Інтерактивну цифрову карту, основний результат експериментально-демонстраційного дослідницького проєкту, підтриманого державними фондами та виграного через національний конкурс. Вимоги до дослідницького проєкту були сформульовані на основі відповідей користувачів та професійних археологів, отриманих через опитування. Карта була спроектована для підтримки діяльності з охорони археологічної спадщини в Румунії та для полегшення доступу спеціалістів і широкої аудиторії до актуальної інформації про археологічну спадщину. Вона збирає в синтетичній формі раніше неструктуровану інформацію, що різниться за кількістю і якістю даних, зберігається в різних носіях і форматах (паперових, цифрових, з геопросторовим розташуванням чи без нього) і в різних установах, які не пов'язані між собою (міністерство культури, обласні дирекції з культури, музеї та науково-дослідні інститути тощо). Інтерактивна цифрова карта була спроектована з самого початку як ключовий інструмент для інтегрованого управління археологічною спадщиною, враховуючи збільшений тиск з боку сучасного суспільства, економічного і нерухомого розвитку, який часто суперечить діяльності з охорони і збереження археологічної спадщини.

У статті [11] розглядається завдання навігації мобільного робота за об'єктами, яке є одним із ключових для мобільної робототехніки. Одним з найважливіших компонентів цього завдання є точне семантичне представлення сцени, необхідне для визначення і досягнення цільового об'єкта. У статті [11] пропонується нове представлення семантичної карти сцени, яке формується під час взаємодії агента з внутрішнім середовищем. Це представлення базується на методі нейронних мереж, що коригує ваги моделі сегментації за допомогою зворотного поширення значень втрат під час інференції на регулярній (зворотній) або затриманій (прямій) послідовності зображень. Цей підхід реалізовано в повноцінному методі навігації, званому SkillTron. Метод дозволяє вибрати навички робота з кінцевими політиками

на основі підкріпленого навчання та класичних методів планування на основі карт. Запропонований підхід дає можливість формувати як проміжні цілі для дослідження роботом, так і кінцеву ціль для навігації об'єктами. Проведені інтенсивні експерименти в середовищі Habitat показують значну перевагу запропонованого підходу в порівнянні з існуючими методами, враховуючи показники якості навігації.

У статті [12] розглядається використання внутрішньої магнітної карти (ІММ) на основі коливань магнітного поля для позиціонування та навігації в приміщеннях. Однак багато рішень для створення ІММ є часозатратними, трудомісткими та дорогими, що обмежує розвиток та застосування цієї технології. Для вирішення проблеми точності, ефективності та вартості створення ІММ була запропонована методика інтерактивного картографування ІММ, заснована на недорогих магнітометрах, акселерометрах і гіроскопах (сенсори MARG). Спочатку ІММ визначено як структурований набір даних з серією позиційних міток та коливань магнітного поля. Далі представлено концепцію загального джерела калібрування сенсорів (GSCS) і відповідні метрики для людської взаємодії, які надають віртуальну інформацію для усунення помилок позиційних міток, що накопичуються з часом, та допомагають отримувати стабільні коливання магнітного поля. Для перевірки ефективності запропонованого методу проведено серію експериментів, результати яких показують, що цей метод не тільки відповідає вимогам точності картографування, але й значно покращує ефективність і знижує вартість картографування, перевершуючи інші сучасні алгоритми. Конкретні результати: точність картографування становить близько 0,31 м, ефективність картографування – 1800 м² на годину, а вартість основного модуля картографування ІММ не перевищує 10 доларів США.

У статті [13] розглядається проблема точного та повного об'ємного представлення простору для планування маршрутів та місій мобільними роботами. Однак величезна кількість сирих даних, отриманих від 3D сенсорів,

швидко стає неуправлінною, що ускладнює зберігання та використання пам'яті, а також навігацію. Для абстрагування необхідної інформації в корисне представлення для навігації зазвичай застосовуються об'ємні сіткові карти. Хоча ці підходи вирішують проблеми пам'яті та обробки даних, поточні реалізації часто потребують значного часу для вставки нових даних. Це призводить до того, що створені карти часто не оновлюються вчасно та є неповними через відсутність сенсорних даних. Це суттєво знижує їх корисність для навігації роботів в динамічно змінюваних середовищах. Для вирішення цих проблем запропоновано нову ймовірнісну структуру картографування на основі OpenVDB, яка є ієрархічною деревоподібною структурою з ефективними методами доступу до дискретизованих об'ємних даних. Завдяки швидкому прямому доступу до бітових масок основної структури даних OpenVDB, досягнуто значного підвищення продуктивності вставки даних, що дозволяє здійснювати обробку сирих 3D сенсорних даних в реальному часі. У статті також наводиться порівняння ефективності та пам'яті між запропонованою структурою VDB-Mapping і широко використовуваним фреймворком OctoMap. Результати показують, що VDB-Mapping здатна ефективно обробляти дані великої дальності на високоякісних сітках.

У статті [14] розглядається завдання виявлення важливих об'єктів (SOD), яке є попереднім етапом для кількох методів комп'ютерного зору, таких як візуальне відстеження, створення підписів до зображень, сегментація зображень тощо. У цій роботі запропоновано кілька технік для покращення точності SOD. Замість того, щоб безпосередньо використовувати карти контурів як орієнтири, автори вдосконалили адаптивний двострумковий енкодер, застосувавши ефективну техніку для генерації карт тіла та карт деталей, які надають більше інформації для кінцевих передбачень. Для карт тіла та карт деталей передбачені різні параметричні контрасти, щоб користувачі могли вибрати бажані результати. Порівняно з сучасними

алгоритмами SOD, запропонований метод перевершує майже всі інші методи на дванадцяти наборах даних за двома метриками оцінки.

У статті [15] представлено інтерактивну систему SLAM для графів з використанням 3D LIDAR, яка дозволяє користувачу взаємодіяти з 3D картою середовища, створеною автоматичною системою SLAM. За допомогою оптимізації графа поз, що складається з обмежень поз, створених автоматичною системою SLAM, та обмежень корекції карти, визначених користувачем через графічний інтерфейс, отримується велика та глобально узгоджена 3D карта середовища. Запропоновано напівавтоматичні техніки закриття петель та корекції карти на основі площин для створення обмежень корекції карти. Також розроблено підхід оновлення обмежень поз для уточнення поз, визначених автоматичною системою SLAM. Результати оцінки показують, що запропонована система дозволяє покращити узгодженість результатів картографування та досягти точності картографування, що перевершує сучасні автоматичні системи SLAM з мінімальними зусиллями з боку людини.

1.5 Висновки до першого розділу

Розробка інтерактивних картографічних ресурсів потребує комплексного підходу, що охоплює технічні, аналітичні, користувацькі та інтеграційні аспекти.

Основними результатами дослідження цього розділу є наступне:

- визначено необхідність багаторівневої архітектури для забезпечення масштабованості, зручності обслуговування та продуктивності;
- наголошено на важливості інтуїтивно зрозумілого UI/UX дизайну та відповідності стандартам доступності (WCAG);

- технічні вимоги повинні враховувати підтримку сучасних форматів геопросторових даних (GeoJSON, KML) та забезпечення захисту інформації через механізми шифрування та контролю доступу;
- ефективна візуалізація повинна поєднувати точність геопросторових даних із естетично привабливою презентацією;
- динамічні функції, такі як спливаючі підказки, масштабування та накладання шарів, підвищують зручність використання;
- інтеграція аналітичних можливостей, включаючи кластеризацію та аналіз гарячих точок, робить інструмент ефективним для прийняття рішень;
- функції фільтрації, пошуку та масштабування є основою для зручності користувачів;
- важливість ефективного рендерингу даних для підтримки високої продуктивності та адаптації до великих обсягів інформації;
- упровадження ієрархічних фільтрів і нечіткого пошуку розширює функціональність ресурсів;
- використання API таких платформ, як OpenStreetMap, сприяє збагаченню ресурсів за рахунок доступу до великого обсягу геопросторових даних;
- підтримка налаштування стилів карт і накладення додаткових шарів забезпечує гнучкість візуалізації;
- інтеграція реальних даних, наприклад, для моніторингу трафіку або погоди, робить ресурс актуальним та практичним;
- технології HTML, CSS та JavaScript є основою інтерактивних карт, забезпечуючи структуру, стиль та функціональність;
- використання бібліотек, таких як Leaflet та D3.js, значно спрощує створення інтерактивних картографічних програм;
- інтеграція технологій реального часу (WebSockets) і 3D-візуалізацій (WebGL) дозволяє створювати сучасні, функціональні та ефективні ресурси;

- просторові СУБД (наприклад, PostGIS, SpatiaLite) є ключовим елементом інтерактивних картографічних ресурсів;
- використання індексів (R-дерева, Quad-дерева) та стандартів даних (GeoJSON, Shapefiles) сприяє швидкому доступу та обробці великих обсягів інформації;
- інтеграція з платформами ГІС через стандарти OGC забезпечує сумісність і масштабованість.

Ці висновки демонструють важливість збалансованого підходу до розробки інтерактивних картографічних ресурсів, що враховує потреби користувачів, продуктивність системи, безпеку та відповідність сучасним технологіям. Враховуючи постійний розвиток вебтехнологій, інтерактивні ресурси продовжуватимуть еволюціонувати, стаючи ще більш адаптивними, функціональними та орієнтованими на користувача.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕРАКТИВНОГО РЕСУРСУ КАРТОГРАФІЧНОЇ МОДЕЛІ

2.1 Формулювання технічних вимог до інтерактивного ресурсу

Розробка технічних специфікацій для інтерактивного ресурсу є багатогранною: від загальних цілей проекту до потреб і можливостей користувачів і їхніх технологій [5-7]. Інтерактивні ресурси, зокрема картографування, з візуалізацією даних або керованою користувачем аналітикою, вимагають дуже детальної структури специфікацій, щоб забезпечити високу продуктивність і справжню ефективність. Вони формують основу, на якій розробники та дизайнери впроваджують системи, які, як очікується, будуть функціональними, продуктивними, придатними для використання та безпечними на основі галузевих стандартів і передового досвіду. Формулювання технічних вимог починається з визначення основної функціональності інтерактивного ресурсу. Це вимагає детального аналізу того, для чого призначена система та які завдання вона буде виконувати. Наприклад, має бути можливим виконання кількох просторових операцій на інтерактивному картографічному ресурсі, таких як запит географічних об'єктів, накладання кількох шарів даних і оновлення в реальному часі. Ці функціональні можливості мають бути чітко сформульовані в технічних вимогах, щоб керувати процесом розробки. Крім того, вимоги повинні враховувати різноманітні потреби цільової аудиторії, яка може включати людей з обмеженими технічними знаннями. Для цього потрібні інтуїтивно зрозумілі інтерфейси, легкодоступні інструменти навігації та надійні довідкові системи.

Архітектура інтерактивного ресурсу є однією з найважливіших складових технічних вимог. Більшість сучасних інтерактивних систем використовують багаторівневу архітектуру, яка розділяє рівень презентації,

прикладної програми та даних. Розділення покращує масштабованість, зручність обслуговування та гнучкість. Він повинен детально описувати технології та фреймворки, які будуть використовуватися на кожному рівні, а також інтерфейси, які дозволяють їм спілкуватися один з одним. Наприклад, рівень даних може використовувати реляційну СУБД із просторовими розширеннями для зберігання географічної інформації, тоді як мови сценаріїв на стороні сервера можуть використовуватися на прикладному рівні для обробки запитів користувачів [11, 12]. Презентація, у свою чергу, може базуватися на таких вебтехнологіях, як HTML5, CSS3 і JavaScript, для реалізації інтерфейсу користувача. Ці архітектурні рішення повинні враховувати як загальні цілі проекту, так і технологічні обмеження середовища розробки.

Масштабованість – це ще одна фундаментальна проблема, яку слід враховувати під час розробки технічних специфікацій. Інтерактивні ресурси повинні бути розроблені для обробки постійно зростаючих обсягів даних і трафіку користувачів без значного погіршення продуктивності. Це дуже важливо для систем, що працюють у динамічних середовищах, таких як аналітика в реальному часі або широкомасштабний публічний доступ. Технічні вимоги повинні викладати стратегії досягнення масштабованості, включаючи використання розподілених обчислювальних архітектур, механізмів балансування навантаження та хмарної інфраструктури. Крім того, у вимогах мають бути детально описані показники продуктивності, яким має відповідати система під час роботи під різними навантаженнями, щоб вона залишалася швидкою та надійною навіть під час пікового використання.

Управління даними є основою будь-якого інтерактивного ресурсу, а отже, у технічних вимогах щодо зберігання, пошуку та обробки даних необхідно багато деталей [14, 15]. Система повинна підтримувати широкий спектр форматів даних і стандартів, щоб забезпечити сумісність із зовнішніми джерелами даних і інструментами. Наприклад, це має включати GeoJSON,

KML, Shapefiles і мови просторових запитів, такі як SQL з геопросторовими розширеннями для геопросторових інтерактивних ресурсів. Згідно з технічними вимогами, цілісність і послідовність даних повинні забезпечуватися за допомогою механізмів підтвердження, перевірки помилок і синхронізації. Крім того, він повинен забезпечувати заходи безпеки даних, включаючи шифрування та контроль доступу, щоб захистити конфіденційну інформацію та відповідати нормативним стандартам.

Ще одним важливим моментом щодо технічних вимог цього інтерактивного ресурсу є UI/UX дизайн. Система повинна мати інтуїтивно зрозумілий привабливий інтерфейс, який забезпечує плавну взаємодію. Керівні принципи такого дизайну забезпечуватимуть послідовність, простоту та оперативність, які мають бути викладені в технічних вимогах. Таким чином, вони повинні включати в себе здатність працювати з різними пристроями та розмірами екранів, щоб цей ресурс міг охопити людей на настільних ПК, планшетах і смартфонах [15]. Вимоги повинні передбачати тестування зручності використання та процеси проектування ітерацій, щоб дозволити розробникам повторювати інтерфейс у відповідь на відгуки користувачів і показники продуктивності.

Оскільки користувачі хочуть, щоб інтерактивні ресурси відповідали швидко та надійно, оптимізація продуктивності є частиною технічних вимог. Він стосується визначення методів і технологій, які будуть використовуватися під час оптимізації продуктивності системи. Приклади включають використання механізмів кешування, коли дані, до яких часто звертаються, можуть зберігатися в пам'яті, щоб скоротити час пошуку. Подібним чином використання структур просторової індексації, таких як R-дерева або Quad-дерева, прискорить обробку геопросторових запитів. Технічні вимоги також мають стосуватися продуктивності мережі, включаючи стратегії мінімізації затримки та використання пропускну здатності. Безпека є невід'ємною частиною технічних вимог, оскільки світ стикається зі збільшенням випадків

кіберзагроз і витоку даних. Система має впровадити надійні заходи безпеки, щоб захистити дані користувача та запобігти несанкціонованому доступу. Технічні вимоги мають детально описувати механізми автентифікації та авторизації, які мають бути реалізовані, такі як багатофакторна автентифікація та контроль доступу на основі ролей [9]. Вони також мають передбачити стандарти шифрування, які мають використовуватися для зберігання та передачі даних, щоб уся конфіденційна інформація зберігалася в безпеці. Вимоги також мають передбачати засоби моніторингу та пом'якшення вразливостей безпеки, включаючи регулярні оновлення, оцінку вразливості та протоколи реагування на інциденти.

Ще один дуже важливий аспект технічних вимог стосується інтеграції з системами та службами за межами організації. Більшість інтерактивних ресурсів призначені для певної взаємодії з іншими програмами, скажімо, платформами ГІС, платформами бізнес-аналітики або соціальними мережами. Технічні вимоги повинні вказувати, які API, формати даних і протоколи слід використовувати для інтеграції, щоб обидві сторони могли вільно спілкуватися одна з одною. Крім того, у заявах про вимоги не слід ігнорувати цю масштабованість і продуктивність такого роду інтеграцій.

Під час розробки технічних вимог доступність є ключовою проблемою, адже інтерактивні ресурси мають бути доступними для використання різними типами аудиторій. Технічні вимоги мають відповідати рекомендаціям щодо доступності, таким як WCAG, щоб зробити систему доступною для людей з обмеженими можливостями: навігація з клавіатури, зчитувачі з екрана, висококонтрастна кольорова схема. Вони також повинні включати врахування мовної та культурної різноманітності користувачів, дозволяючи вибір різних мов. Крім того, це має включати їхні відповідні параметри локалізації.

Необхідність тестування та валідації передбачає розробку дуже комплексних технічних вимог [6, 8]. Така система вимагатиме ретельного тестування, щоб переконатися, що вона працює належним чином щодо

функціональності, продуктивності та безпеки. У ньому потрібно вказати методології тестування, які будуть використовуватися, наприклад модульне тестування, інтеграційне тестування та тестування прийнятності користувача. Слід також згадати, які інструменти та фреймворки будуть використовуватися та як буде перевірятися продуктивність системи. Вимоги також мають передбачати оновлення та технічне обслуговування, щоб ресурс можна було використовувати через деякий час [5].

Отже, процес створення технічних вимог до інтерактивного ресурсу є складним і повторюваним за своєю природою. Вони вимагають продуманого планування та ретельної уваги до деталей. Вимоги являють собою проект, який керуватиме розробкою, оскільки системи проектуються та впроваджуються, щоб виконувати роботу ефективно та з легкістю для користувача. Таким чином, технічні вимоги всебічно описують функціональність, архітектуру, масштабованість, керування даними, дизайн UI/UX, продуктивність, безпеку, інтеграцію, доступність і тестування, закладаючи основу для розробки такого інтерактивного ресурсу, який би задовольнив усі потреби сучасного користувача. Оскільки технологія знаходиться в стадії подальшого розвитку, формулювання технічних вимог також доведеться змінити, включаючи нові тенденції та новинки, щоб інтерактивні ресурси були актуальними та функціональними.

2.2 Інтеграція з зовнішніми сервісами

Інтеграція з зовнішніми сервісами збільшує обсяг можливостей, які може виконувати ресурс, але водночас розв'язує широкі набори даних і функції, представлені на цих зовнішніх платформах. Зокрема, включення OpenStreetMap, який став одним із загальноновизнаних і широко застосовуваних зборів геопросторової інформації, значно підвищує глибину та універсальність інтерактивних ресурсів [15]. Інтеграція зовнішніх служб,

таких як OpenStreetMap, використовує основний і ключовий принцип сумісності, згідно з яким різні системи обмінюються та можуть далі використовувати дані без перешкод. Сумісність можлива завдяки стандартизованим протоколам, форматам і API, які дозволяють обмінюватися даними між інтерактивним ресурсом і зовнішньою службою. Остання можливість дозволяє взаємодіяти для OpenStreetMap через API, задокументований найбільш фундаментально для доступу до геопросторових даних, надання послуг і допоміжних функцій. OpenStreetMap API підтримує все, від отримання необроблених картографічних даних у форматі XML або JSON до запиту конкретних геопросторових функцій на основі параметрів, визначених користувачем. Крім того, наявність сторонніх бібліотек і фреймворків спрощує інтеграцію даних OpenStreetMap в інтерактивний ресурс.

Самим початком інтеграції OpenStreetMap в інтерактивний ресурс є визначення певного випадку використання та того, що саме потрібно від сервісу. OpenStreetMap – це багате джерело геопросторових даних, які охоплюють від доріг і будівель до природних об'єктів і визначних місць, усі ретельно класифіковані та позначені глобальною спільнотою учасників. Використовуючи цю велику кількість інформації, існує можливість створювати високодеталізовані та релевантні контексту візуалізації, які збагачують досвід користувача [13-15]. Наприклад, ресурс, пов'язаний з міським плануванням, може використовувати дані OpenStreetMap для візуалізації меж зонування, дорожнього руху чи інших громадських зручностей: ресурс, призначений для боротьби зі стихійними лихами, може показувати зони високої вразливості, шляхи евакуації або центри допомоги. Насправді це передбачає отримання та вбудовування даних OpenStreetMap до ресурсу за допомогою ефективної внутрішньої системи, яка може обробляти великі обсяги даних. З огляду на оптимізацію продуктивності, набори геопросторових даних можуть бути великими за розміром і досить складними.

Зазвичай це досягається різними техніками: просторовим індексуванням, кешуванням даних і рендерингом на стороні сервера.

Окрім цього, важливим аспектом інтеграції OpenStreetMap є персоналізація стилів карт і візуалізацій відповідно до конкретних цілей і естетичних смаків інтерактивного ресурсу. Зазвичай дані в OpenStreetMap відображаються в Mapnik або Leaflet, що пропонує широкий вибір стилів і тем. Це дає можливість персоналізувати колір, ширину лінії, мітки, значки, серед іншого, щоб створити гармонійний і візуально привабливий інтерфейс карти. Крім того, можливість накладання додаткових шарів, таких як карти тепла, маркери або динамічна візуалізація даних, ще більше покращує цей ресурс з точки зору інтерактивності та функціональності. Наприклад, у туризмі його можна використовувати для накладання популярних визначних пам'яток, маршрутів подорожей і створених користувачами відгуків на базову карту, щоб створити для користувачів набагато цікавіший та інформативніший досвід [11].

На рисунку 2.1 наведено діаграму послідовності, яка наводить процес інтеграції з зовнішніми сервісами.

Інтеграція зовнішніх служб також вимагає глибоких знань щодо ліцензування даних і відповідності. Окрім технічних аспектів, інтеграція таких служб, як OpenStreetMap та інших зовнішніх ресурсів, значною мірою сприяє зручності використання та функціональності ресурсу. Доступ до багатого динамічного набору даних дозволяє переглядати та аналізувати інформацію способами, які раніше були непрактичними або неможливими. Наприклад, включення каналів даних у реальному часі, наприклад, оновлення дорожнього руху чи погодних умов, перетворить цей інструмент із статичного ресурсу на активний інструмент прийняття рішень, який може змінюватися залежно від ситуації. Подібним чином можливість краудсорсингу користувачів, подібно до співпраці в OpenStreetMap, сприяє спільному досвіду, що позитивно впливає на загальний досвід користувача.

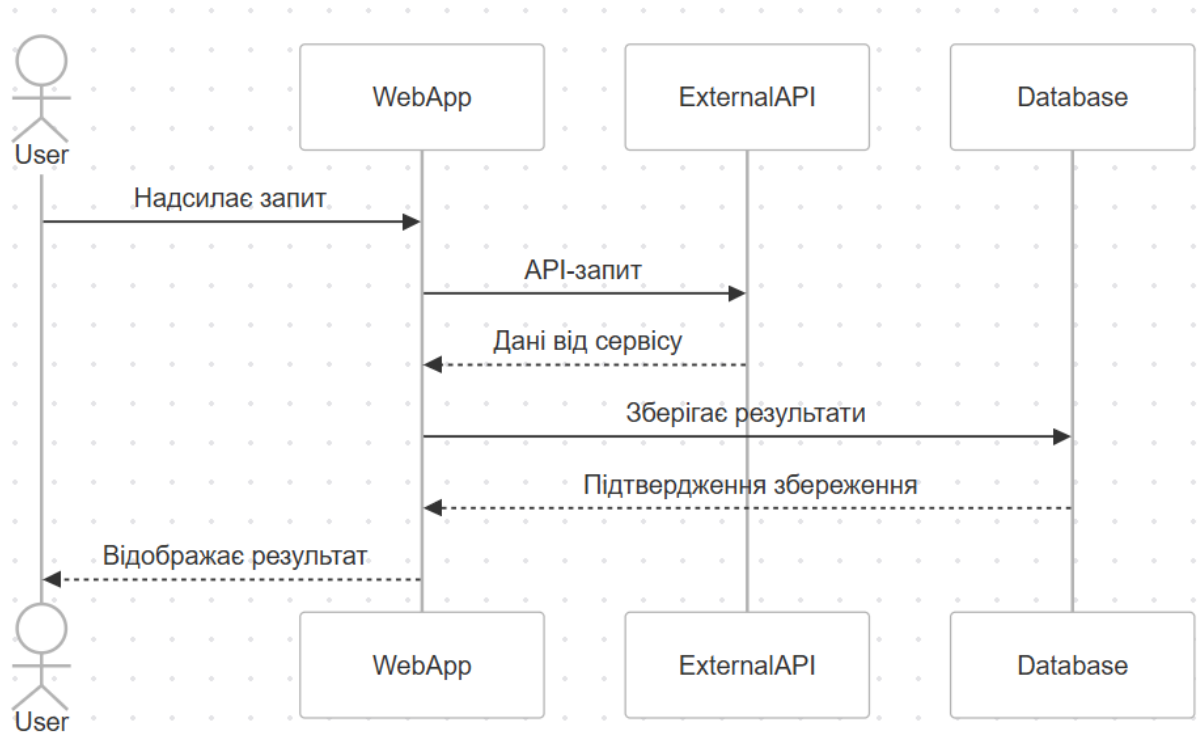


Рисунок 2.1 – Діаграма послідовності інтеграції з зовнішніми сервісами

2.3 Вебтехнології HTML, CSS, JavaScript

Розробка інтерактивних карт представляє собою набір традиційних картографічних методів із сучасними вебтехнологіями, що є важливою частиною сучасного геопросторового аналізу та візуалізації. В основі цієї трансформації лежать вебтехнології: HTML для структури, CSS для стилю та JavaScript для інтерактивності, які об'єднані для створення привабливих функціональних програм на основі карт [9, 10].

Схематично взаємодія згаданих технологій виглядає так, як показано на рисунку 2.2.

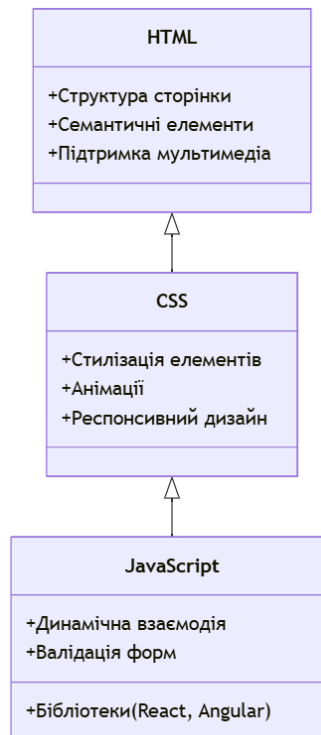


Рисунок 2.2 – Схема взаємодії HTML, CSS та JavaScript

Крім того, вони є не лише основою для веброзробки, але й відіграють важливу роль у цьому відношенні, забезпечуючи передові бібліотеки картографування та інтеграцію фреймворків і, отже, розширюючи можливості інтерактивної картографії.

HTML розшифровується як Hypertext Markup Language і забезпечує структурну основу для інтерактивних вебкарт. Він забезпечує основу, необхідну для вбудовування компонентів відображення, визначення макета та структурування елементів, з якими має взаємодіяти користувач. HTML гарантує, що карта, включаючи її компоненти, такі як елементи керування, легенди та метадані, добре організована для доступності та зручності використання. HTML5, остання версія мови, представила нові функції мови, такі як елемент `<canvas>` і розширені медіа-можливості, які покращують цю можливість створювати динамічні та адаптивні карти [6]. Наприклад, елемент `<canvas>` дозволяє малювати в самому браузері графічні елементи вищої

складності, таким чином дозволяючи рендеринг користувацьких шарів карти, маркерів і анотацій без використання зовнішніх плагінів.

CSS означає каскадні таблиці стилів, і ця технологія заповнює необхідний стиль і візуальний дизайн, щоб зробити карти красивими та зручними. CSS дозволяє декларувати, як мають виглядати різні елементи карти – межі, кольори, шрифти чи анімація – для підтримки візуальної узгодженості у взаємодії з користувачем. CSS3 надав ще більше можливостей для інтерактивної картографії з розширеними функціями стилю, такими як градієнти, переходи та трансформації. Це дозволяє створювати динамічні візуальні карти, які реагують на взаємодії користувача, такі як виділення об'єктів при наведенні або анімація переходів між станами карти [13]. Крім того, CSS дозволяє налаштовувати елементи керування картою та компоненти інтерфейсу користувача відповідно до загальної мови дизайну програми.

JavaScript – це мова вебпрограмування та основа інтерактивності вебкарт. Це дозволяє реалізувати динамічну поведінку та функції, які відрізняють інтерактивні карти від їхніх статичних аналогів. За допомогою JavaScript він дозволяє користувачеві панорамувати, масштабувати, шукати, фільтрувати та взагалі взаємодіяти з даними карти в режимі реального часу, роблячи карту чутливою та дослідницькою. Універсальність JavaScript ще більше посилюється доступністю спеціалізованих бібліотек і фреймворків, таких як Leaflet, OpenLayers і D3.js, які надають готові функції та компоненти, адаптовані до потреб картографічних програм. Ці бібліотеки роблять процес розробки плавнішим, дозволяючи зосередитися на інноваційному, орієнтованому на користувача досвіді картографування [7].

Наприклад, Leaflet – це сучасна бібліотека JavaScript із відкритим кодом для інтерактивних карт, зручних для мобільних пристроїв. Він пропонує простий, але потужний API для створення шарів карт, маркерів і спливаючих вікон і керування ними, отже, ідеальний вибір для додатків, де важливі простота використання та продуктивність. З іншого боку, OpenLayers надає

розширений набір інструментів для подальшого геопросторового аналізу та візуалізації даних у різних форматах і картографічних проекціях. D3.js – це керована даними бібліотека візуалізації, яка розширює функціональні можливості інтерактивних карт за допомогою можливості інтегрувати користувацькі графічні елементи та анімацію в карти, таким чином подолаючи розрив між традиційною картографією та сучасними методами візуалізації даних.

Інтеграція HTML, CSS і JavaScript додатково полегшує використання API або інтерфейсів прикладного програмування та вебсервісів, які корисні для доступу та візуалізації геопросторових даних. Google Maps API, Mapbox і Esri ArcGIS Online надають доступ до великих сховищ географічних даних і дозволяють налаштовувати та вбудовувати карти у вебпрограми. Ці служби використовуватимуть базові вебтехнології для надання високопродуктивних і масштабованих картографічних рішень, іноді з розширеними функціями, такими як геокодування, маршрутизація та просторовий аналіз [4-6].

Вебтехнології також відіграють важливу роль у швидкодії та адаптивності інтерактивних карт. Оскільки використання мобільних пристроїв зростає, карти повинні добре працювати на екранах різних розмірів і методах введення. Завдяки поєднанню HTML, CSS і JavaScript технології адаптивного дизайну дозволяють картам налаштовувати свій макет і функціональність відповідно до пристрою, щоб найкраще відповідати користувацькому досвіду. Наприклад, медіа-запити в CSS дозволяють визначати стилі, націлені на будь-який заданий розмір екрана, тоді як виявлення жестів дотиком і вимкнення або адаптування елементів керування картою за потреби можна обробляти через JavaScript.

Прогрес у вебтехнологіях також уможливив інтеграцію з потоками даних у реальному часі, дозволяючи відображати динамічні, часто досить змінні явища на інтерактивних картах [9, 10]. Протоколи WebSockets і SSE, реалізовані в JavaScript, дозволяють оновлювати дані в режимі реального часу

від сервера до інтерфейсу карти без необхідності оновлення сторінки. Це має велике значення в програмах, де своєчасна інформація має вирішальне значення, наприклад, моніторинг руху в реальному часі, прогноз погоди або реагування на стихійні лиха. Крім того, такі технології, як WebGL, які підтримуються сучасними браузерами, дозволяють візуалізувати високоефективну 3D-графіку, відкриваючи нові можливості для інтерактивної картографії. Використовуючи WebGL, можна було б розробити візуалізацію тривимірної карти, здатну краще представляти топографічні особливості, міське середовище чи інші складні просторові явища.

З одного боку, інтеграція HTML, CSS і JavaScript має багато переваг. З іншого боку, їх інтеграція створює певні проблеми, які необхідно вирішити, щоб інтерактивні карти були ефективними та сталими в довгостроковій перспективі. Серед занепокоєнь оптимізація продуктивності ставатиме все більш важливою: багата інтерактивна функціональність і більший обсяг даних продовжуватимуть розширювати ресурси браузера до нових меж. Рішення таких проблем можуть включати кешування даних, відкладене завантаження та візуалізацію векторної плитки [12]. Це гарантує, що великі набори даних на картах залишатимуться чуйними та швидкими. Іншим важливим фактором у розробці інтерактивних карт за допомогою вебтехнологій є доступність. Необхідно забезпечити доступ до карт для користувачів з обмеженими можливостями, дотримуючись стандартів доступності, таких як Інструкції щодо доступності вебвмісту. Це включатиме навігацію з клавіатури, альтернативний текст для елементів на карті та сумісність із програмою зчитування з екрана. Віддаючи пріоритет доступності, можна гарантувати, що інтерактивні карти будуть інклюзивними та задовольнятимуть потреби різних груп користувачів. Так само безпека та конфіденційність є найважливішими в програмах, які мають справу з конфіденційними або створеними користувачами даними. Тому важливо інтегрувати надійні заходи безпеки, які запобігатимуть несанкціонованому доступу, витоку даних та іншим формам

зловмисних атак. Це передбачає шифрування даних при передачі, перевірку введених користувачем даних і дотримання найкращих практик під час безпечного кодування. Крім того, прозорість збору та використання даних має першочергове значення для збереження довіри користувачів і дотримання нормативних актів, таких як GDPR [13].

Підсумовуючи, HTML, CSS і JavaScript – це три вебтехнології, які лежать в основі розробки інтерактивних карт, забезпечуючи структуру, стиль і функціональність, необхідні для сучасних картографічних програм. Інтеграція зі спеціальними бібліотеками, API та технологіями даних у реальному часі розширила можливості геопросторової візуалізації до динамічних, адаптивних і орієнтованих на користувача карт. Проте ефективна реалізація цих технологій також вимагає критичного розгляду питань, пов'язаних із продуктивністю, доступністю, безпекою та конфіденційністю, щоб інтерактивні карти могли залишатися стійкими та справедливими способами розуміння та вирішення просторових явищ. З безперервним розвитком вебтехнологій вони безумовно відіграватимуть більш значну роль у формуванні майбутнього картографії, відкриваючи нові шляхи для інновацій та впливу.

2.4 Геоінформаційні сервіси

Так звані географічні інформаційні служби, добре відомі як ГІС (рис. 2.3), сприяли розробці інтерактивних онлайн-карт, здатних візуально відображати мінливу просторову інформацію та виконувати геопросторовий аналіз у різних сферах.

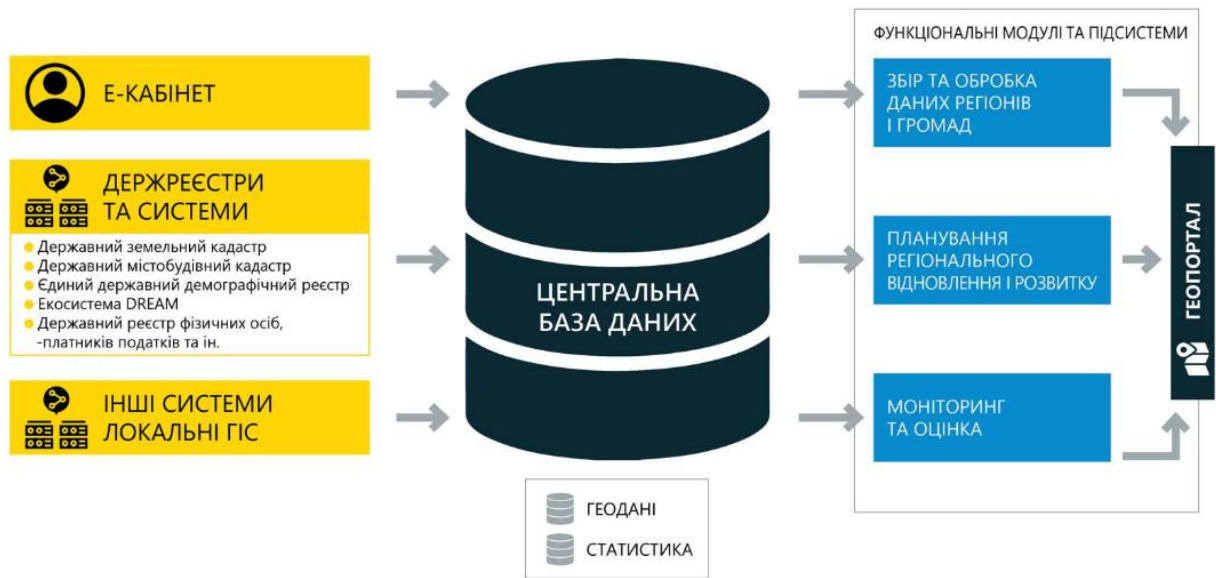


Рисунок 2.3 – Архітектура ГІС

В основі цієї трансформації лежить набір платформ і бібліотек, таких як Leaflet, OpenLayers і Google Maps API, які дозволяють надавати повноцінні, зручні програми на основі карт [1-3]. Ці утиліти поєднують картографічні принципи, можливості програмування та методи керування даними, які бездоганно інтегровані з розробкою веб і мобільних платформ. Їх широке впровадження відображає баланс між технічною надійністю та доступністю до основних потоків передових геопросторових технологій.

Leaflet стає сучасним інструментом простих, зручних для мобільних пристроїв інтерактивних карт і є бібліотекою JavaScript з відкритим кодом. Розроблений з урахуванням простоти та продуктивності, Leaflet дозволяє включати динамічні шари карти, маркери та спливаючі вікна у вебпрограми без великих витрат на код. Завдяки своїй модульній архітектурі та величезній екосистемі плагінів у більшості випадків він може розширити свою функціональність, створюючи індивідуальні рішення для картографування для певних випадків. Це плагіни для створення кластерів для маркерів, малювання фігур, додавання теплових карт, що, отже, дозволяє відображати дані в якийсь складний інший спосіб. Здатність підтримувати різні базові

карти, включаючи OpenStreetMap і користувальницькі шари плиток, ще більше підвищує її універсальність, дозволяючи створювати тематичні картографічні представлення з високим ступенем індивідуальних потреб [12].

OpenLayers, ще одна видатна бібліотека з відкритим вихідним кодом, задовольняє більш просунуті геопросторові вимоги, пропонуючи комплексні інструменти для візуалізації та обробки карт. На відміну від Leaflet, OpenLayers підтримує більше форматів просторових даних, таких як GeoJSON, KML і WMS (Web Map Service), які ідеально підходять для додатків, яким доводиться справлятися з проблемами взаємодії з багатьма різними наборами геопросторових даних. Крім того, він справді добре підтримує прогнози та трансформації. OpenLayers також містить деякі розширені функції, такі як векторне редагування, просторовий аналіз та інтеграція із зовнішніми геопросторовими службами, що робить його кращим варіантом у програмах для міського планування, моніторингу навколишнього середовища та управління інфраструктурою. Використовуючи WebGL для візуалізації, OpenLayers забезпечує високоефективну візуалізацію, яка дозволяє бібліотеці відображати великі набори даних зі складною геометрією без втрати оперативності.

Google Maps API є власною службою, що надається Google і є еталоном для комерційних картографічних рішень. Відомий своїм обширним набором даних і глобальним охопленням, він дозволяє вбудовувати інтерактивні карти в вебпрограми та мобільні додатки, включаючи такі високоякісні функції, як геокодування, зворотне геокодування та маршрутизація [13]. Його підтримка перегляду вулиць, супутникових зображень і накладень на рельєф покращує реалістичність і контекст візуалізації карт, отже забезпечуючи користувачам захоплюючий досвід. Цей API додатково інтегровано з усією екосистемою Google, надаючи послуги Places і Directions, які ще більше покращують його функціональність для розробки служб на основі визначення місцезнаходження, навігаційних систем і планувальників маршрутів.

Незважаючи на те, що незрівнянна функціональність Google Maps API перевершує будь-яку іншу, вимога моделей ціноутворення на основі використання та залежність від власних форматів даних стає проблемою для програм з бюджетними обмеженнями або потребують відкритих даних.

Взаємодія цих платформ із новими вебтехнологіями вивела функції інтерактивних карт далеко за межі простої функціональності карт. Інтеграція з WebGL, наприклад, забезпечує складну 3D-візуалізацію та анімацію, які дозволяють досліджувати просторові явища неперевершеним способом. Ця технологічна синергія між різними компонентами сприяє створенню найсучасніших програм, таких як 3D-моделі міст, топографічна візуалізація та віртуальна реальність, які виходять за рамки традиційного картографічного представлення [12]. Подібним чином інтеграція потоків даних у реальному часі через API та протоколи, такі як WebSocket, підвищує актуальність і корисність інтерактивних карт із динамічними оновленнями в таких сферах застосування, як моніторинг трафіку, реагування на катастрофи та спостереження за навколишнім середовищем.

Доступність даних і сумісність залишаються центральними при розробці інтерактивних карт із ГІС-платформами. Такі інструменти, як Leaflet і OpenLayers, підкреслюють підтримку стандарту відкритих даних для більшої відкритості та спільного використання між різними геопросторовими проектами. Інтеграція сховищ відкритих даних, таких як OpenStreetMap, забезпечує шлях, за допомогою якого можна отримувати та використовувати комплексні набори геопросторових даних без необхідності ліцензування. Така демократизація геопросторової інформації заохочує інновації та залучення, дозволяючи невеликим організаціям та окремим розробникам створювати значущі картографічні програми. Власні служби, такі як Google Maps API, можуть надавати більш збагачені набори даних і розширені функції, але можуть обмежувати переносимість даних і сумісність через ліцензійні обмеження та власні формати [7-9].

Дизайн і функціональність ГІС-платформ, на яких створено ці інтерактивні карти, в значній мірі мають значення. Такі атрибути, як інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, легка навігація та швидкість реагування, є одними з ознак успішних картографічних програм, які забезпечують користувачам ефективну роботу з просторовими даними. Такі інструменти, як Leaflet, характеризуються простотою та легкістю використання, що робить їх доступними. З іншого боку, OpenLayers націлений на досвідчених користувачів, яким потрібен детальний контроль над функціями карти та обробкою даних. Google Maps API забезпечує баланс, пропонуючи легкість використання для простих випадків і глибоке налаштування, де це необхідно, і, таким чином, підходить для широкого спектру випадків використання.

Набір методів штучного інтелекту та машинного навчання в поєднанні з ГІС-платформами відкрив нові виміри для інновацій у сфері інтерактивного картографування [6]. Вони забезпечують розширений просторовий аналіз, прогнозне моделювання та автоматичне створення карт, які додають цінності геопросторовим даним. Наприклад, алгоритми на основі штучного інтелекту аналізують моделі трафіку, щоб забезпечити оптимізацію маршрутів і прогнозувати зростання міст на основі історичних тенденцій і соціально-економічних факторів. AI і ML також інтегровані в платформи ГІС, щоб отримувати інформацію навіть із неструктурованих джерел даних, таких як супутникові зображення та канали соціальних мереж, які все більше

Зрештою, Leaflet, OpenLayers і Google Maps API – це лише деякі з основних ГІС-платформ, які вважаються незамінними при розробці інтерактивних карт, кожна з яких пропонує широкий спектр інструментів і можливостей для різних програм. Їхня інтеграція з новими технологіями та дотримання геопросторових стандартів значно просунули сферу картографії, уможлививши динамічну візуалізацію, орієнтовану на користувача, яка покращує наше розуміння світу. Оскільки такі платформи вирішують проблеми точності даних, масштабованості та доступу, вони ще більше

формують майбутнє інтерактивного картографування, просуваючи інновації та заохочуючи глибше оцінювати просторові виміри явищ людини та навколишнього середовища.

2.5 Системи управління базами даних для просторової інформації

Системи управління базами даних (СУБД) просторової інформації дуже важливі для розробки інтерактивних карт, які ефективно зберігають, витягають, обробляють і візуалізують геопросторові дані. Попит на надійні просторові СУБД багаторазово зріс [10]. Ці системи є основою, на якій будуються інтерактивні картографічні додатки, інтегруючи складні просторові запити з обробкою даних у реальному часі, щоб забезпечити безперебійну роботу користувачів. Просторові СУБД мають здатність обробляти спеціальні типи даних і операції, які відрізняються від традиційних систем баз даних. Геопросторові дані представляють собою дані про розташування, форму та співвідношення об'єктів у просторі. Зазвичай вони представлені у вигляді векторних моделей, наприклад, точок, ліній і багатокутників, або растрових моделей, із прикладами даних у сітці, таких як супутникові зображення. З цими форматами просторова СУБД повинна підтримувати спеціальні структури даних для зберігання та забезпечувати механізми індексування, здатні оптимізувати просторові запити. Багатовимірність у природі робить традиційні методи індексування, такі як В-дерева, непридатними для просторових даних [12]. Просторова СУБД, таким чином, залежить від методів просторового індексування, таких як R-дерева, Quad-дерева та Geohash для ефективного пошуку та вилучення в просторових розподілах.

Просторові запити виходять за рамки простого пошуку даних і включають такі операції, як просторове з'єднання, аналіз близькості та просторове накладання, серед інших. Такі операції вимагають складних

алгоритмів, які мають враховувати геометричні та топологічні властивості просторових даних. Завдяки інтеграції просторової СУБД з ГІС відбувається повна реалізація в розробці інтерактивних карт. ГІС-платформа надає інтерфейс, за допомогою якого просторову базу даних можна візуалізувати, аналізувати та редагувати. Таким чином, інтегровані системи дозволяють інтуїтивно зрозумілу взаємодію з просторовими даними, наприклад, клацання на об'єкті карти, щоб повернути інформацію про атрибути, або малювання форми, щоб визначити просторовий екстент для аналізу [13]. Сучасні ГІС-платформи використовують вебтехнології для зв'язку з просторовими СУБД для підтримки оновлення даних у реальному часі та інтерактивних функцій. Це робиться за допомогою стандартних протоколів і мов запитів, таких як WFS, WMS і стандарт Simple Feature Access від OGC – розширення до SQL, що підтримує просторові оператори.

З точки зору розробки інтерактивних карт, просторові СУБД повинні вирішувати принаймні такі три ключові проблеми: масштабованість, точність даних і взаємодію. Масштабованість має особливе значення, враховуючи, що супутникові зображення, пристрої GPS і датчики Інтернету речей генерують все більшу кількість геопросторових даних. Щоб обробляти цей величезний обсяг даних, просторова СУБД використовує розподілену архітектуру та хмарні рішення для зберігання [14, 15]. Вони розподіляють дані та обчислювальні навантаження між вузлами, щоб система могла обробляти великомасштабні набори даних і великі обсяги запитів. Прикладами цієї парадигми є хмарні просторові СУБД, такі як Google BigQuery GIS і Amazon Aurora з PostgreSQL, які забезпечують еластичне масштабування, додане до інтеграції з хмарними обчислювальними службами.

Точність даних є ще одним важливим питанням у просторовій СУБД. Неточності можуть поширюватися аналізом, щоб зробити неправильні висновки. Просторові дані часто надходять із різних джерел, усі з яких мають різний рівень точності. Наприклад, дані GPS можуть містити помилки,

викликані перешкодою сигналу, тоді як оцифровані карти можуть містити неточності геоприв'язки. Просторова СУБД долає такі проблеми за допомогою методів перевірки даних, таких як посилення просторових обмежень і використання метаданих для відстеження якості даних. Крім того, системи підтримують перетворення координат, щоб дані з різних джерел правильно збігалися в загальній системі просторової відліку [15].

Сумісність важлива для того, щоб просторова СУБД могла спілкуватися з іншими системами та будь-яким іншим джерелом даних. У більшості випадків існує потреба обмінюватися геопросторовими даними між різними програмами, від спеціального програмного забезпечення ГІС до інструментів бізнес-аналітики. Просторові СУБД використовують міжнародні стандарти форматів даних і сервісів. Наприклад, такі формати даних, як GeoJSON, KML і Shapefiles, забезпечують сумісність із багатьма інструментами, тоді як стандартні API дозволяють програмно отримувати доступ до просторових даних. Що стосується запитів, просторова СУБД може підтримувати кілька мов, наприклад SQL із просторовими розширеннями, що дозволяє використовувати різні типи програм. Основні архітектури значною мірою визначають продуктивність, показуючи, що просторові СУБД можуть мати значні відмінності. Модульність і дизайн на основі мікросервісів переймають традиційні монолітні архітектури. В архітектурі мікросервісів просторові функції окремо упаковані в сервіси, які взаємодіють за допомогою API. Це дозволить самостійно масштабувати та оновлювати. Наприклад, можна масштабувати або оновлювати механізм візуалізації або процесор просторових запитів, не впливаючи на решту [13, 14]. Крім того, для прискорення просторових обчислень і прискорення пошуку даних були використані інші досягнення апаратних технологій у графічних процесорах і твердотільних накопичувачах, що ще більше підвищує продуктивність просторової СУБД.

Просторова СУБД відіграє важливу роль у випадку інтерактивного картографування, починаючи від простого керування даними до розширеної аналітики та машинного навчання. Просторові СУБД також отримали функціональність для просторової статистики, кластеризації та регресійного аналізу з розвитком служб на основі розташування та прогнозного моделювання. Ці функції дозволяють витягувати значущі шаблони з геопросторових даних. Просторові СУБД все більше інтегруються зі структурами машинного навчання для підтримки таких програм, як класифікація зображень і виявлення об'єктів на супутникових зображеннях. Цю інтеграцію дозволяють API і бібліотеки, які дозволяють легко взаємодіяти між просторовою СУБД і моделями машинного навчання [5, 7].

Оскільки інтерактивні карти часто показують конфіденційну інформацію, такі як місцезнаходження або межі власності, просторові СУБД реалізують надійні механізми контролю доступу, що обмежують несанкціонований доступ. Наприклад, RBAC і ABAC поширені в застосуванні детальних дозволів. Крім того, методи шифрування були включені в просторову СУБД для захисту даних як у стані спокою, так і під час передачі. Крім того, досліджуються деякі технології збереження конфіденційності, такі як диференціальна конфіденційність і безпечне багатостороннє обчислення, щоб уможливити просторовий аналіз із збереженням індивідуальної конфіденційності.

Інтерактивні карти зробили ще один крок вперед із появою рішень з відкритим кодом у розробці просторових СУБД. Безкоштовні просторові СУБД з відкритим вихідним кодом, такі як PostGIS і SpatiaLite, надали доступ до геопросторових технологій і дали змогу ефективно створювати досить економічно ефективні картографічні програми. Такі системи підтримуються великою документацією, активною підтримкою спільноти та підтримкою різноманітних інструментів ГІС. Безкоштовні рішення з відкритим вихідним

кодом також утворюють інкубатор інновацій, що дозволяє зацікавленим людям випробувати нові просторові алгоритми та структури даних.

Просторові СУБД є основою розробки будь-якої інтерактивної карти. Вони надають інфраструктуру для керування, аналізу та візуалізації геопросторових даних. Спеціальні можливості, такі як підтримка просторових запитів, індексування та стандарти даних, дозволяють легко інтегрувати їх із платформами ГІС та іншими програмами [11]. Вирішуючи основні проблеми, такі як масштабованість, точність і сумісність, просторова СУБД дозволяє створювати динамічні та зручні картографічні програми. З безперервним розвитком геопросторових технологій роль просторових СУБД постійно зростатиме завдяки розробкам хмарних обчислень, машинного навчання та методів збереження конфіденційності.

2.6 Висновки до другого розділу

У розділі представлено комплексний аналіз сучасних підходів, методів і технологій, необхідних для розробки інтерактивного ресурсу картографічної моделі:

- встановлено, що успіх інтерактивних ресурсів базується на детально опрацьованих технічних вимогах. Це включає функціональність, архітектуру, масштабованість, дизайн UI/UX, безпеку та інтеграцію;
- визначено важливість багаторівневої архітектури, яка підвищує масштабованість, гнучкість і зручність обслуговування системи;
- підтверджено ключову роль інтерактивної візуалізації, яка перетворює складну геопросторову інформацію в доступні для розуміння форми;
- інтерактивність (масштабування, панорамування, динамічні накладення) значно покращує функціональність і зручність аналізу просторових даних;

- акцент зроблено на реальному часі та 3D-візуалізації, які підвищують точність і гнучкість систем;
- виявлено важливість цих функцій як основи для персоналізації користувацького досвіду;
- зазначено необхідність ієрархічної фільтрації та узагальнення даних для ефективної роботи з великими обсягами інформації;
- інтеграція з платформами, такими як OpenStreetMap і Google Maps API, значно розширює функціонал інтерактивного ресурсу, додаючи нові рівні гнучкості та деталізації;
- зроблено акцент на важливості API, форматів даних і протоколів для забезпечення сумісності між системами;
- розглянуто фундаментальну роль цих технологій у побудові інтерактивних картографічних систем;
- відзначено значення спеціалізованих бібліотек, таких як Leaflet та OpenLayers, для забезпечення адаптивності, динамічності та інтерактивності вебкарт;
- виділено критичну роль просторових СУБД у зберіганні, обробці та візуалізації геопросторових даних;
- просторові запити, масштабованість, точність та інтеграція зі стандартами забезпечують ефективну взаємодію між даними та системою.

Дослідження методів інтерактивних ресурсів картографічної моделі показує, що ефективна реалізація таких систем залежить від технологічної синергії, детального планування та інтеграції з сучасними інструментами. Запропоновані підходи закладають основу для створення інноваційних ресурсів, що відповідають потребам користувачів і викликам сучасних геопросторових задач.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Постановка та мета роботи

Постановка задачі: розробка інтерактивного вебдодатка для роботи з картографічними даними

Мета: розробити вебдодаток, який дозволяє взаємодіяти з інтерактивною картою для створення, редагування та управління маркерами, побудови маршрутів, вимірювання відстаней, а також збереження та завантаження даних маркерів.

3.2 Завдання на реалізацію

Завдання для реалізації інтерактивного ресурсу є наступним:

- надати інтерактивну карту, яка використовує різні типи шарів (стандартний, супутниковий, топографічний);
- забезпечити можливість динамічної зміни типу шару карти;
- дозволити користувачам додавати маркери на карті за допомогою кліка миші;
- додати функціонал для введення опису до кожного маркера;
- реалізувати унікальне кольорове позначення маркерів;
- надати можливість видаляти маркери;
- зберігати маркери локально (використовуючи localStorage) та завантажувати їх за потреби;
- реалізувати функцію для створення маршрутів між маркерами;
- відображати маршрути на карті у вигляді ліній;
- забезпечити режим вимірювання відстаней між точками на карті;
- відображати загальну відстань, виміряну користувачем;
- створити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для взаємодії з картою;

- додати кнопки для перемикання шарів карти, запуску режиму вимірювання, збереження та завантаження маркерів;
- забезпечити швидкодію додатка навіть при великій кількості маркерів та маршрутів;
- використовувати сучасні технології (React, Leaflet) для інтерактивної роботи з UI та картою.

Очікуваним результатом є готовий вебдодаток, який дозволяє:

- створювати й управляти маркерами;
- будувати маршрути між ними;
- вимірювати відстані;
- змінювати типи шарів карти;
- зберігати та відновлювати дані.

Додаток має бути адаптивним для різних розмірів екрану, щоб користувачі могли працювати як з десктопних, так і з мобільних пристроїв.

3.3 Структура додатку

Розроблений інтерактивний картографічний додаток базується на сучасних технологіях і інструментах, які забезпечують його функціональність, продуктивність і зручність використання. Основою фронтенду додатка є React – популярний JavaScript-фреймворк для побудови користувацьких інтерфейсів. Завдяки компонентно-орієнтованій архітектурі React вдалося створити модульну структуру додатка, де кожен елемент інтерфейсу представлений як окремий компонент. Це забезпечує простоту в обслуговуванні, можливість повторного використання компонентів і легкість у внесенні змін до програми.

Однією з ключових бібліотек, інтегрованих у додаток, є Leaflet. Вона використовується для роботи з інтерактивними картами і є надзвичайно гнучким і легким інструментом для рендерингу географічних даних. Leaflet

дозволяє працювати з маркерами, маршрутами, шарами карт і подіями, такими як кліки або зміна масштабу. Її функціонал було інтегровано з React через кастомні компоненти та хуки, що забезпечило реактивну обробку подій і синхронізацію стану карти з іншими елементами додатка.

Для зберігання даних у браузері використовується API `localStorage`. Цей інструмент дозволяє зберігати інформацію, таку як положення маркерів або створені маршрути, у вигляді JSON-об'єктів. Це забезпечує збереження даних між сесіями роботи користувача з додатком, що особливо корисно для персоналізації користувацького досвіду. Використання `localStorage` також мінімізує потребу в додаткових серверних ресурсах для обробки тимчасових даних.

Крім того, приділено значну увагу створенню інтерактивного інтерфейсу, який включає адаптивні елементи управління. HTML5 і CSS3 стали базовими технологіями для розробки зовнішнього вигляду додатка. Використання CSS-перемикачів, а також сучасних медіазапитів забезпечило адаптивність інтерфейсу, що дозволяє коректно відображати карту та елементи управління як на великих екранах, так і на мобільних пристроях. Дизайн панелі управління, кнопок та інших елементів виконано з урахуванням принципів ергономіки, що покращує користувацький досвід.

Окремо слід виділити реалізацію маршрутизації між маркерами. Для створення маршрутів використовується вбудована функція Leaflet для роботи з полілініями. Ця функція дозволяє будувати маршрути на основі масиву координат, які генеруються на основі положення маркерів. Візуалізація маршрутів здійснюється шляхом накладення поліліній на карту, що надає можливість користувачам створювати зв'язки між різними точками на карті. Обчислення загальної довжини маршруту реалізовано за допомогою функції `distanceTo`, яка є частиною API Leaflet і дозволяє точно визначати відстані між двома точками на основі їхніх географічних координат.

Режим вимірювання відстаней інтегровано в логіку додатка як окремий функціональний блок. Користувачі можуть додавати точки на карті, які накопичуються у спеціальному масиві. Після кожного додавання нової точки програма автоматично обчислює відстань між останніми двома точками і додає це значення до загальної довжини маршруту. Для забезпечення візуального відображення вимірювань було використано кастомні стилі поліліній, які чітко виділяють вимірюваний маршрут на фоні інших елементів карти.

Функціональність вибору типу шару карти реалізована через об'єкт `mapTypes`, що містить URL-шаблони для різних типів шарів, таких як стандартний, супутниковий і топографічний. Ця функція дозволяє користувачам змінювати вигляд карти залежно від їхніх потреб. Для рендерингу обраного шару використовується компонент `TileLayer`, який є частиною API `Leaflet`. Його інтеграція з `React` забезпечила динамічне оновлення карти при зміні шару, без потреби в перезавантаженні сторінки.

Для управління подіями карти застосовується хук `useMapEvents`, який дозволяє підключати обробники подій до карти. Цей підхід значно спрощує взаємодію з картою, адже всі події, такі як кліки або зміна масштабу, обробляються в рамках `React`-компонентів. Наприклад, додавання маркерів на карту відбувається через обробник події кліку, який передає координати точки в головний стан програми.

Іконки для маркерів створюються за допомогою функції `L.divIcon()`, яка дозволяє генерувати кастомні іконки на основі `HTML` та `CSS`. Це забезпечує високу гнучкість у дизайні маркерів і водночас знижує навантаження на сервер, оскільки відсутня необхідність завантажувати зображення маркерів з зовнішніх ресурсів. Колір маркерів генерується випадковим чином, що полегшує їх візуальне розрізнення на карті.

Безпека додатка також була врахована при розробці. Використання `JSON`-серіалізації для збереження даних у `localStorage` забезпечує захист від

багатьох потенційних вразливостей, пов'язаних із збереженням і обробкою даних. Крім того, програма не зберігає чутливу інформацію і не передає дані на сервер, що знижує ризики, пов'язані з витоком даних.

Продуктивність додатка оптимізовано через умовний рендеринг компонентів. Цей підхід дозволяє уникнути непотрібних перерисовок інтерфейсу, знижуючи навантаження на браузер. Наприклад, маршрути й маркери рендеряться лише тоді, коли їхній стан змінюється, що забезпечує високу швидкість роботи програми навіть при великій кількості даних на карті.

Таким чином, розробка інтерактивного картографічного додатка спирається на сучасні технології, такі як React, Leaflet, HTML5, CSS3 і localStorage, які разом забезпечують його гнучкість, продуктивність і зручність у використанні. Інтеграція цих інструментів дозволила створити багатофункціональний додаток, який задовольняє потреби сучасних користувачів у роботі з інтерактивними картами, забезпечуючи при цьому високу продуктивність і безпеку.

3.4 Опис використаних технологій

У розробленому програмному забезпеченні для інтерактивної роботи з картографічними даними застосовано широкий спектр сучасних технологій, інструментів і бібліотек, що забезпечують високу функціональність, масштабованість і простоту використання. Основу реалізації складає JavaScript-бібліотека React, яка є прогресивним інструментом для створення інтерфейсів користувача. React дозволяє будувати компоненти, що є незалежними, багаторазово використовуваними блоками, з чітко визначеними властивостями та станами. Це спрощує розробку складних вебдодатків шляхом поділу коду на окремі модулі, кожен з яких відповідає за певний аспект функціональності програми.

Однією з основних технологій, використаних у цьому проєкті, є бібліотека React Leaflet, яка забезпечує інтеграцію бібліотеки Leaflet з компонентами React. Leaflet є популярною бібліотекою для роботи з інтерактивними картами, що підтримує широкий набір функцій, включаючи рендеринг карт, додавання маркерів, побудову маршрутів і управління шарами. Використання React Leaflet дозволяє ефективно управляти станом компонентів карти, адаптуючи її вигляд та функціональність відповідно до взаємодії користувача.

Також важливим елементом є використання кастомних іконок для маркерів, які створюються за допомогою методу `L.divIcon` з бібліотеки Leaflet. Це забезпечує високий рівень кастомізації відображення точок на карті, дозволяючи виділяти їх за допомогою кольорів, форм та інших візуальних характеристик. Завдяки цьому користувач має змогу легко орієнтуватися на карті, ідентифікуючи різні точки за їхніми особливостями.

Для обробки кліків по карті та управління подіями використано хук `useMapEvents` з React Leaflet. Це дозволяє відстежувати взаємодії користувача, такі як натискання на карту, і викликати відповідні функції для обробки цих дій. Таким чином, програмний код забезпечує динамічне додавання маркерів на карту в точках, визначених користувачем, із можливістю додавання описів до кожного маркера. Цей підхід спрощує взаємодію з картою, дозволяючи користувачу створювати персоналізовані маркери з унікальними характеристиками.

Крім того, у кодї реалізовано функціональність створення маршрутів між маркерами. Ця функція базується на можливостях Leaflet з побудови поліліній, що використовуються для з'єднання точок на карті. Для збереження даних про маркери та маршрути використано локальне сховище браузера (`localStorage`). Це дозволяє зберігати створені користувачем дані навіть після закриття вебдодатка, забезпечуючи їхню доступність під час наступного відкриття програми. Використання `localStorage` є ефективним рішенням для

невеликих додатків, які не потребують складних баз даних або серверної частини для управління даними.

У додатку також реалізовано режим вимірювання відстаней, що дозволяє користувачу обчислювати довжину маршрутів між обраними точками на карті. Для цього використовується метод `L.latLng().distanceTo()` з бібліотеки `Leaflet`, який розраховує відстань між двома географічними координатами. Отримані результати відображаються у вигляді загальної дистанції, що є корисним інструментом для аналізу маршрутів і планування подорожей.

Для створення кастомних кнопок і елементів інтерфейсу використано сторонню бібліотеку іконок `Lucide-react`. Ця бібліотека забезпечує інтеграцію сучасних `SVG`-іконок, які використовуються для позначення різних функцій, таких як збереження даних, створення маршрутів, зміна типу карти тощо. Завдяки цьому інтерфейс програми є зручним і інтуїтивно зрозумілим для користувача.

Ще одним важливим аспектом є адаптивний дизайн додатка, що дозволяє йому коректно відображатися на пристроях з різними розмірами екранів. Це забезпечується за допомогою гнучкої верстки компонентів і стилізації, яка враховує різні розширення екранів і адаптує вигляд програми до потреб користувача. Загалом, використання цих технологій і інструментів створює сучасний, багатофункціональний та ефективний додаток для роботи з інтерактивними картами, який має широкий потенціал для подальшого розвитку та адаптації під різні сценарії використання.

3.5 Процес роботи інтерактивного ресурсу

У розробленому програмному забезпеченні для роботи з інтерактивною картою процеси взаємодії між користувачем і системою реалізовано через багатоступеневу архітектуру, що охоплює декілька функціональних етапів.

Кожен із цих етапів має свою специфіку та базується на чітко визначених алгоритмах. Робота програмного забезпечення розпочинається з ініціалізації карти за допомогою бібліотеки React Leaflet, яка надає можливість створення інтерактивного компоненту карти з динамічно змінними параметрами. У процесі завантаження додаток виконує підключення до серверів тайлів через URL-адресу, що відповідає обраному користувачем типу карти (наприклад, стандартна, супутникова або топографічна).

Основним елементом взаємодії є можливість додавання маркерів, що забезпечується через обробку подій кліку на карті. Коли користувач натискає на певну ділянку карти, система визначає географічні координати цієї точки, використовуючи вбудовану функціональність Leaflet. Після цього користувачу пропонується ввести опис для створюваного маркера через діалогове вікно. Додатково кожен маркер автоматично отримує випадковий колір, створений на основі HSL-значення, що генерується псевдовипадковим чином. Маркер додається до масиву стану за допомогою механізму React useState, після чого він динамічно відображається на карті як інтерактивний елемент із кастомною іконкою, створеною методом L.divIcon.

Користувач має можливість видаляти маркери з карти. Для цього в кожному спливаючому вікні маркера передбачена кнопка видалення, натискання на яку викликає функцію фільтрації масиву маркерів за унікальним ідентифікатором. Завдяки цьому обраний маркер миттєво зникає з карти. Також реалізовано функціонал створення маршрутів між точками. Якщо на карті є принаймні два маркери, користувач може активувати функцію побудови маршруту, яка з'єднує всі точки у порядку їхнього створення за допомогою поліліній. Полілінії генеруються з використанням координат маркерів і додаються до стану маршруту, що дозволяє їх візуалізувати на карті.

Особливістю розробленого програмного забезпечення є реалізація режиму вимірювання відстаней. У цьому режимі користувач має можливість послідовно натискати на різні ділянки карти, створюючи точки вимірювання.

Відстань між кожними двома точками автоматично розраховується за допомогою методу `Leaflet latLng().distanceTo()`, який визначає геодезичну відстань між координатами точок. Всі сегменти додаються до загальної дистанції, яка відображається у панелі керування. Завдяки цьому користувач отримує зручний інструмент для планування маршрутів і аналізу їхньої довжини.

Додатково передбачено функціонал збереження даних у локальному сховищі браузера. Користувач може зберігати поточний стан маркерів і маршрутів, що дозволяє уникнути втрати даних при оновленні сторінки або закритті додатка. Завантаження збережених даних реалізовано через функцію, яка зчитує дані з `localStorage` і відновлює стан карти, додаючи відповідні елементи до масиву маркерів і маршрутів.

Програмне забезпечення також підтримує адаптацію до різних розмірів екранів. Це досягається через використання гнучкої верстки компонентів `React` та стилізацію, яка забезпечує коректне відображення карти і панелі керування на пристроях із різними роздільними здатностями екранів. Важливим аспектом є інтеграція `SVG`-іконок через бібліотеку `Lucide-react`, що забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із сучасним дизайном.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення охоплює широкий спектр функціональностей, починаючи від роботи з інтерактивними маркерами та маршрутами і завершуючи вимірюванням відстаней і збереженням даних. Його архітектура базується на реактивному підході, який дозволяє ефективно управляти станами та динамічно реагувати на дії користувача, забезпечуючи зручний та ефективний інструмент для роботи з картографічними даними.

3.6 Тестування програмного забезпечення

Розроблений програмний застосунок після запуску запускається на локальному сервері localhost:3000, завдяки чому його можна відкрити за допомогою будь-якого браузера. Відкривши, можна одразу побачити усю карту світу (рис. 3.1). Як вже було зазначено, карта має можливості для зміни шару. На рисунку 3.2 представлено вигляд карти у супутниковому шарі.



Рисунок 3.1 – Карта світу

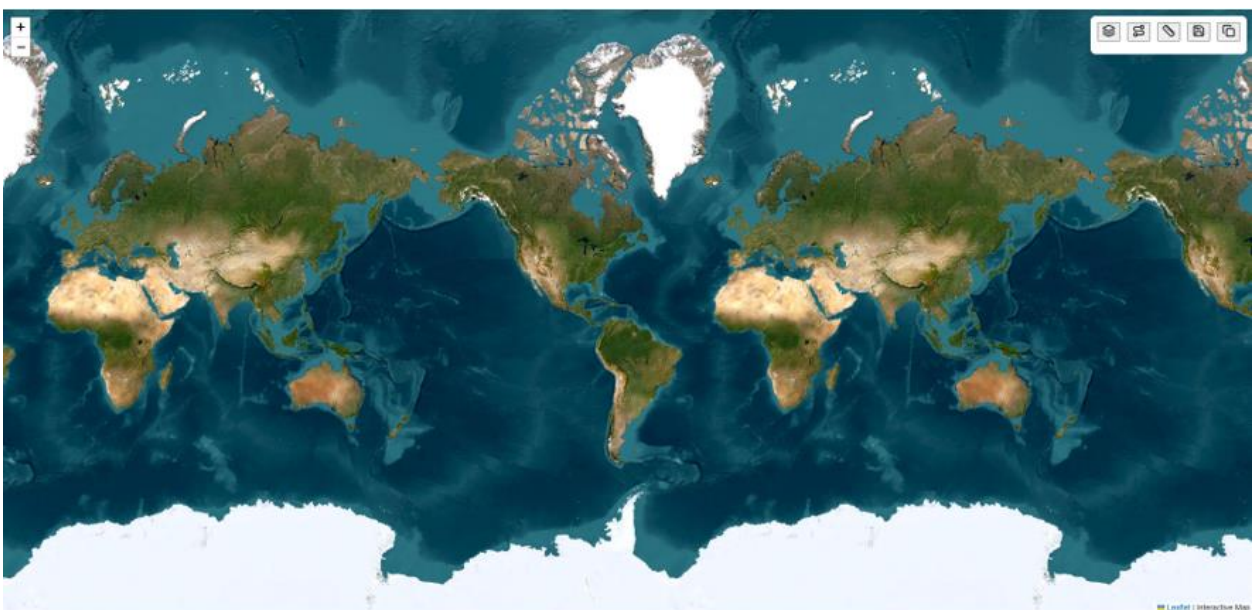


Рисунок 3.2 – Супутниковий шар

У застосунку реалізовано масштабування. На рисунку 3.3 наведено приближений вигляд карти. Масштабування може здійснюватися у будь-яких розмірах. При цьому доступні шари так само належно працюють (рис. 3.4).

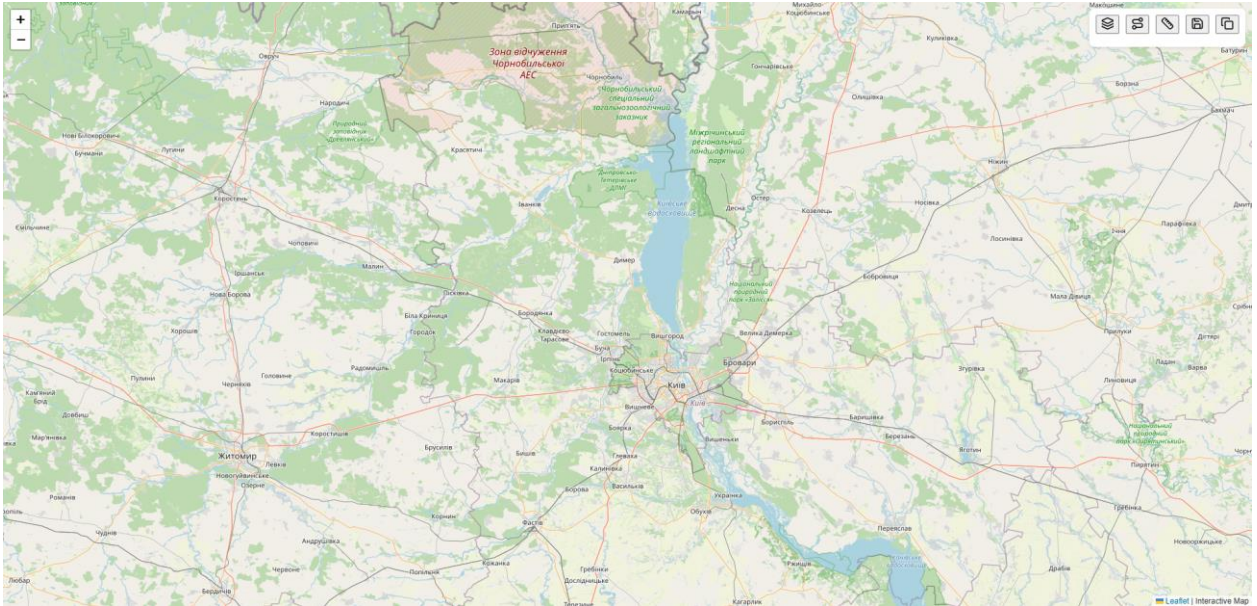


Рисунок 3.3 – Масштабування карти



Рисунок 3.4 – Супутниковий шар при масштабуванні

У застосунку реалізовано необхідні інструменти для взаємодії з картою. На рисунку 3.5 наведено панель цих інструментів. На цій панелі розміщені

інструменти перемикання шару, визначення відстані, прокладання маршрутів, збереження маркерів та можливість їх вставлення.

На рисунку 3.6 наведено використання інструменту для вимірювання дистанції. У верхньому правому куті при цьому буде зазначено кількість кілометрів.

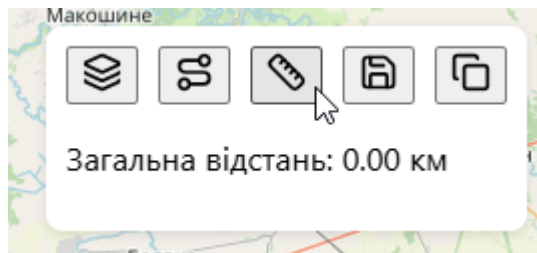


Рисунок 3.5 – Панель інструментів для взаємодії з картою

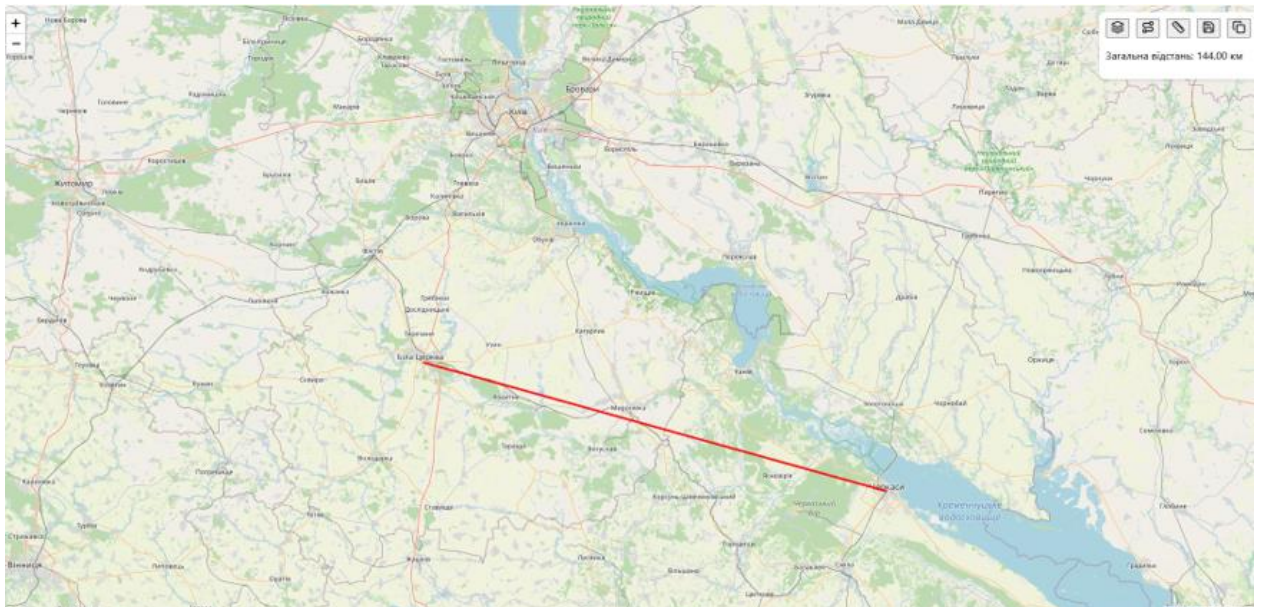


Рисунок 3.6 – Інструмент для вимірювання дистанції

При цьому цей інструмент дозволяє вказувати безліч точок. Так, наприклад, на рисунку 3.7 було додано ще одну точку для вимірювання загальної дистанції. Значення у правому верхньому куті також було оновлено. При цьому так само працюють і інші шари.

На рисунку 3.8 наведено супутниковий шар разом з використаним інструментом вимірювання дистанції.

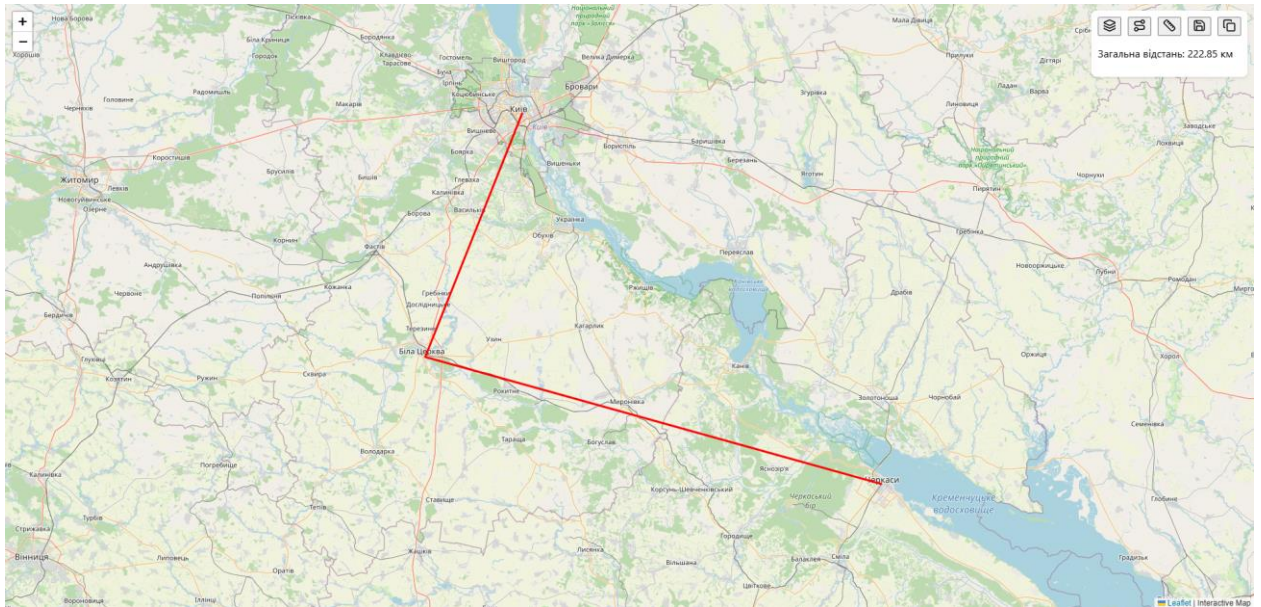


Рисунок 3.7 – Додавання нової точки для вимірювання дистанції



Рисунок 3.8 – Супутниковий шар разом з інструментом для вимірювання дистанції

Якщо натиснути на будь-яку точку карти, то буде надано можливість встановити новий маркер. Для цього необхідно буде вказати його назву. Цю функціональність наведено на рисунках 3.9-3.10.

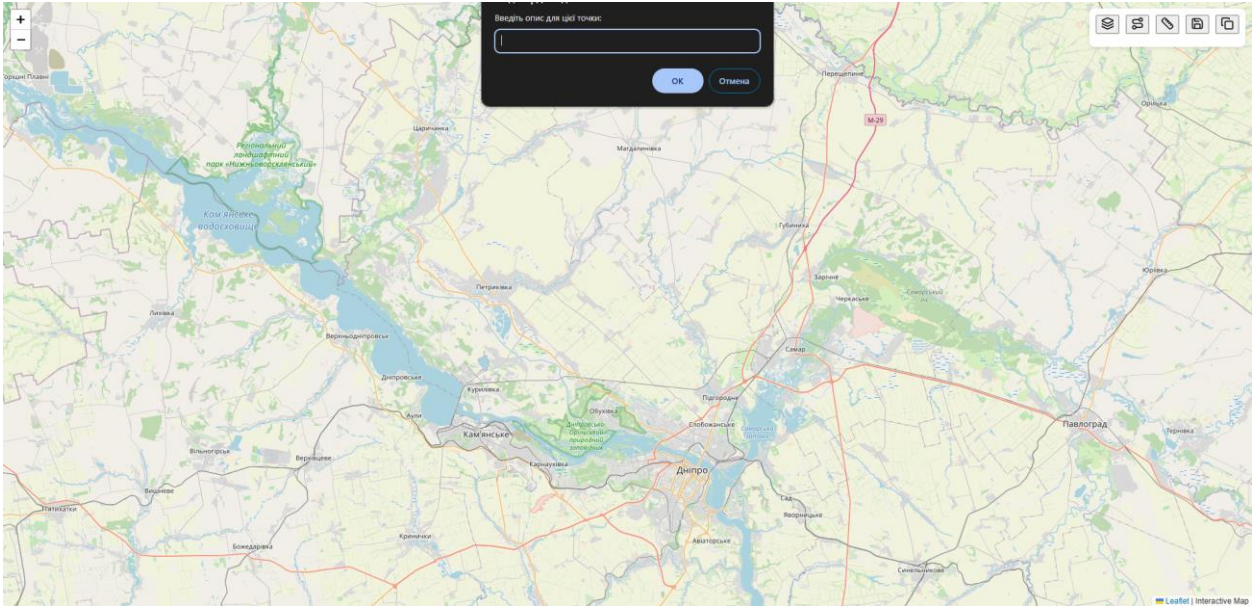


Рисунок 3.9 – Додавання нового маркера

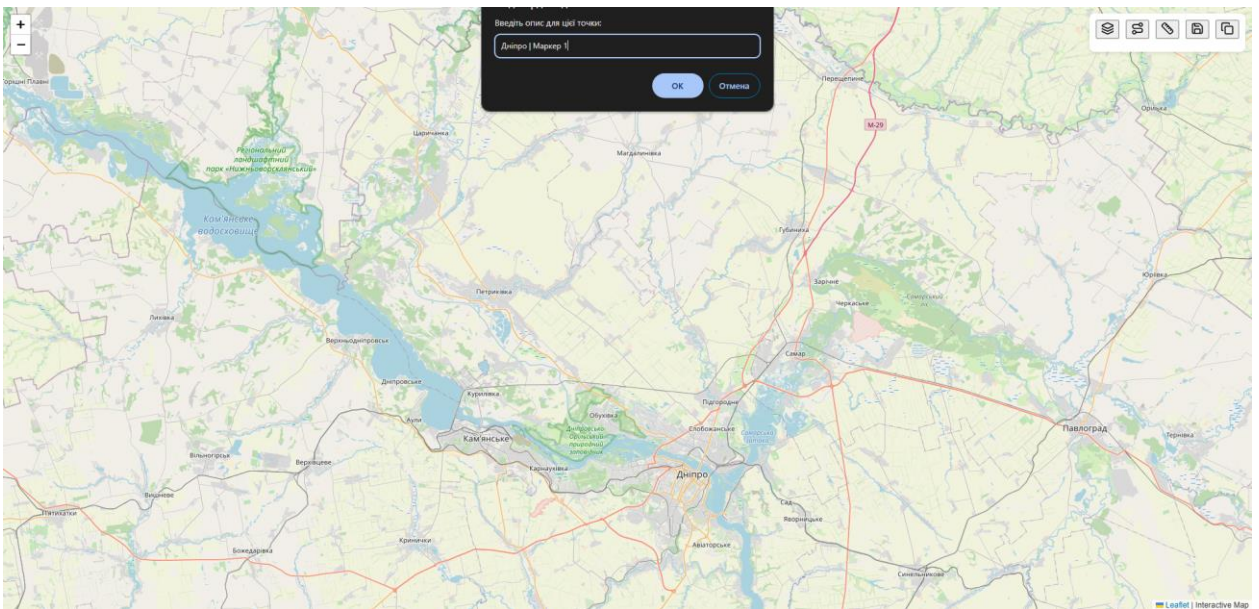


Рисунок 3.10 – Введення назви маркера

Результат додавання нового маркеру наведено на рисунку 3.11. Якщо на нього натиснути, буде показано інформацію про нього, а також надано можливість його видалити за потреби (рис. 3.12).

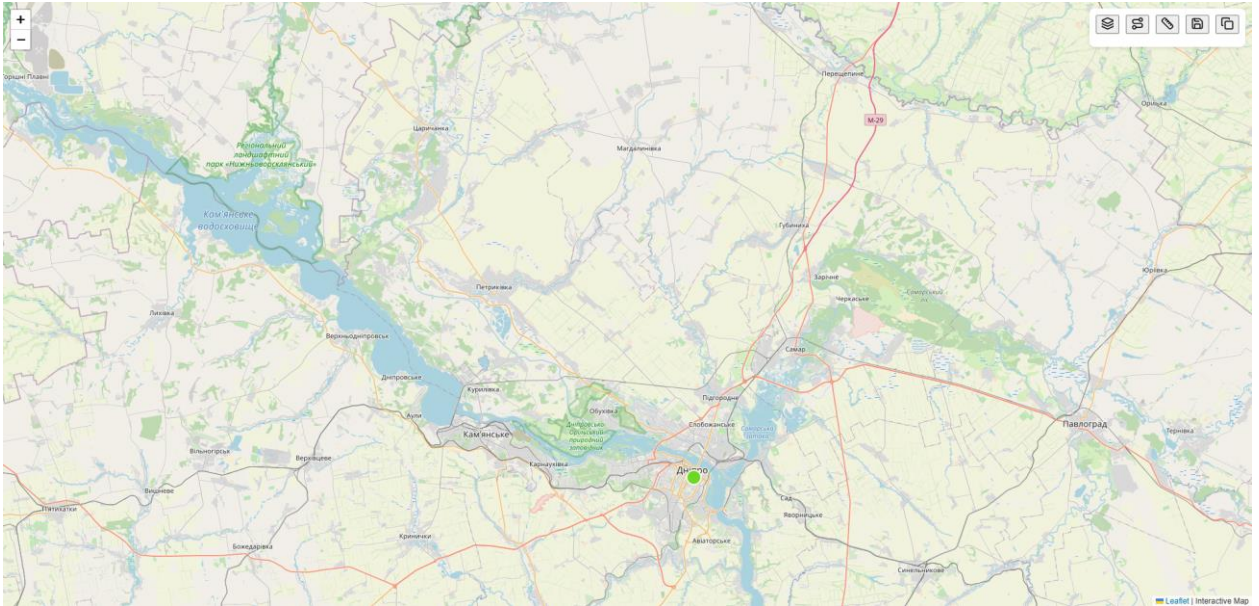


Рисунок 3.11 – Результат додавання нового маркеру

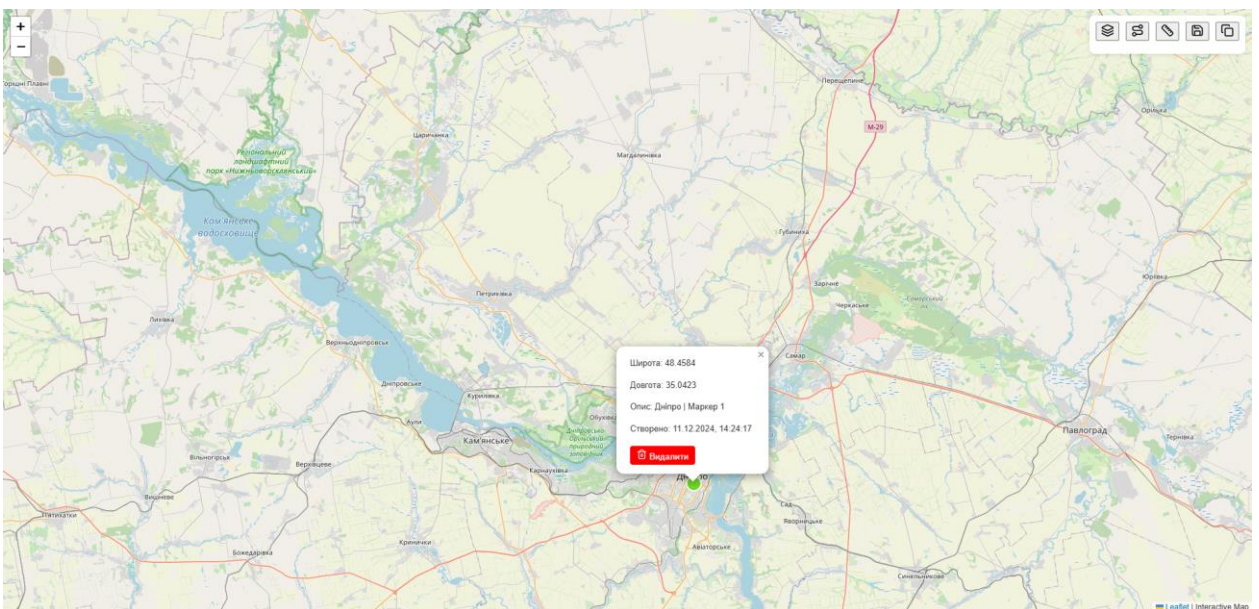


Рисунок 3.12 – Детальна інформація про маркер та можливість його видалення

Результат видалення маркеру наведено на рисунку 3.13.

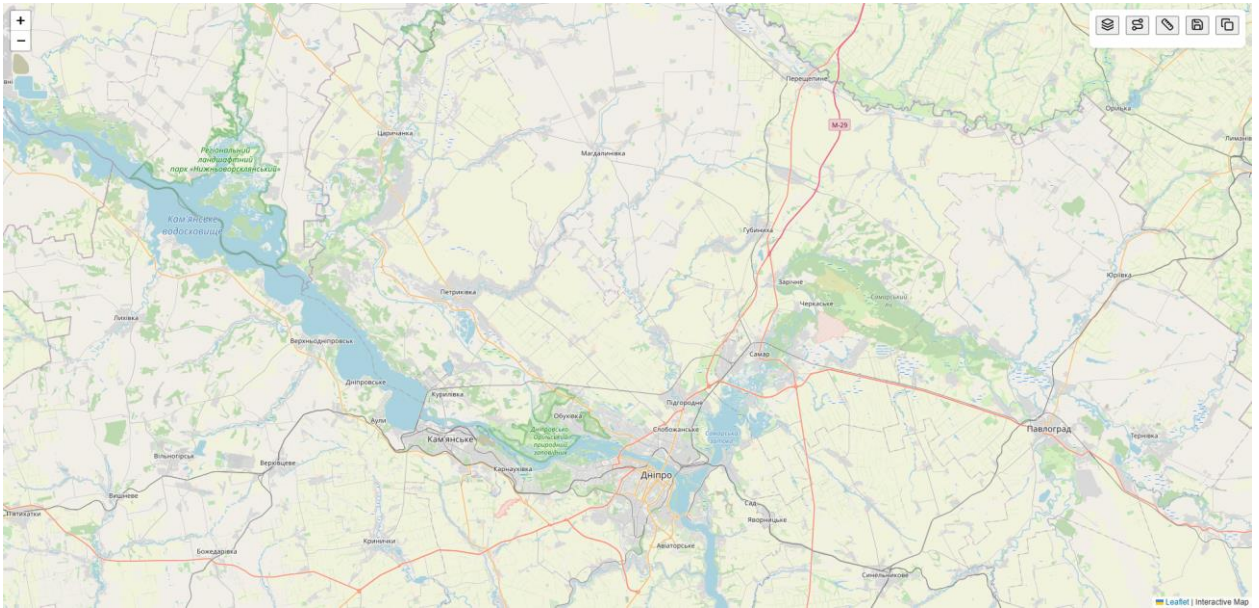


Рисунок 3.13 – Результат видалення маркера

Якщо спробувати використати наступний інструмент «Прокладання маршруту», але на карті буде менше, ніж 2 встановлених маркери, то користувачеві буде надано відповідне інформаційне повідомлення (рис. 3.14).

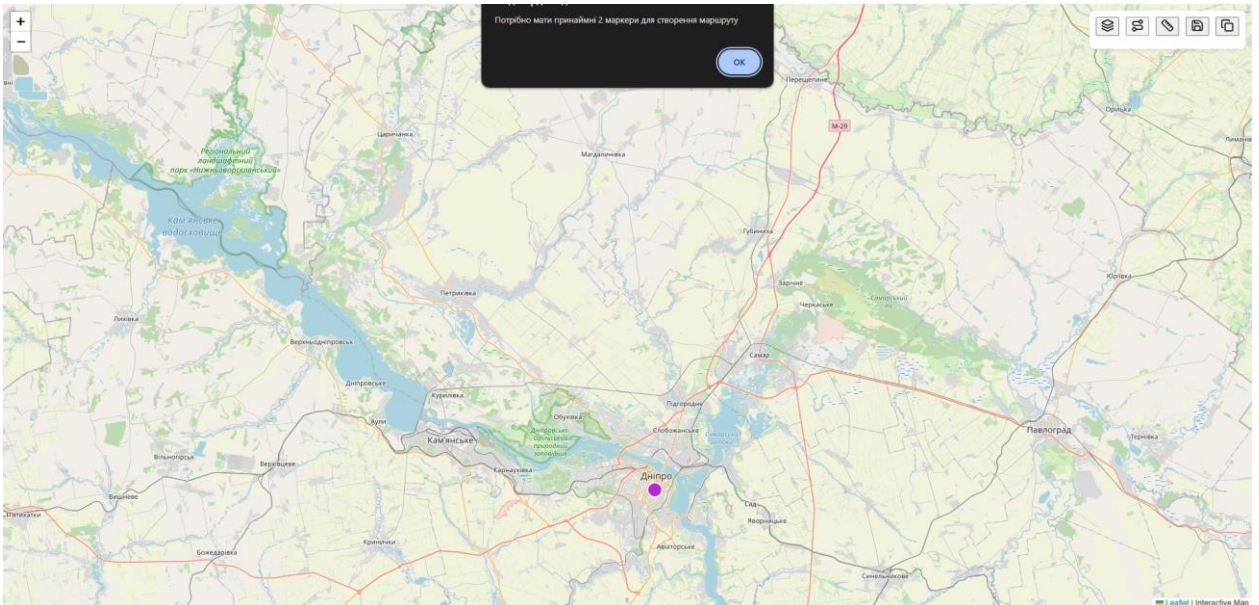


Рисунок 3.14 – Помилка прокладання маршруту

Встановивши щонайменше два маркери (рис. 3.15-3.16) та використавши інструмент «Прокладання маршруту», можна отримати прокладений маршрут (рис. 3.17).

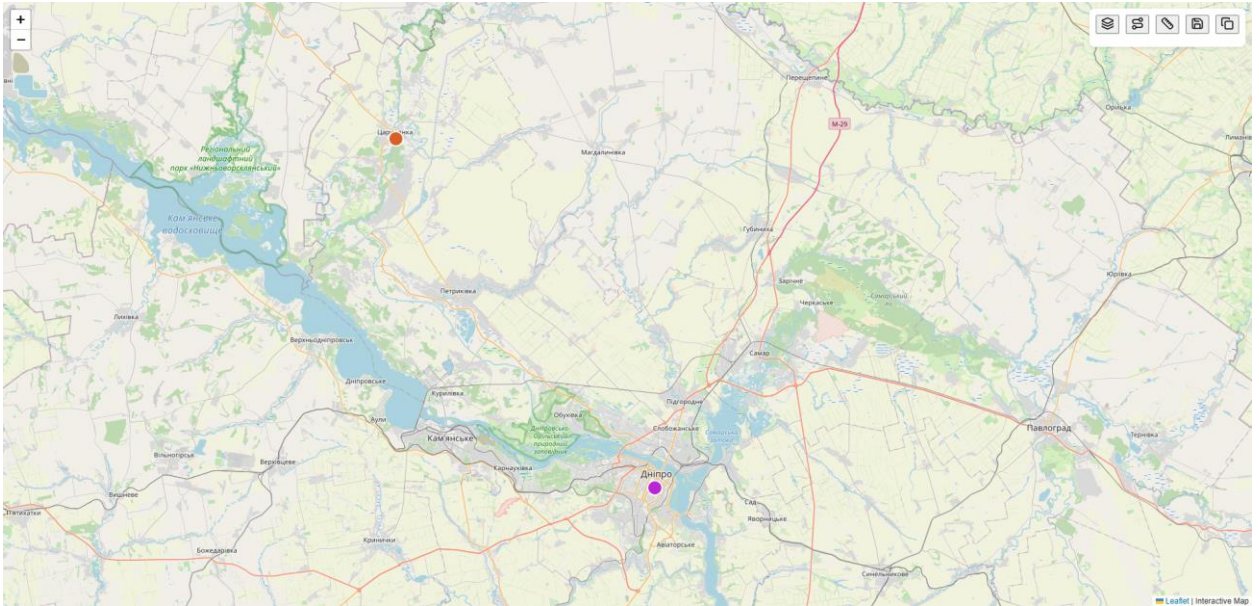


Рисунок 3.15 – Додавання нового маркеру

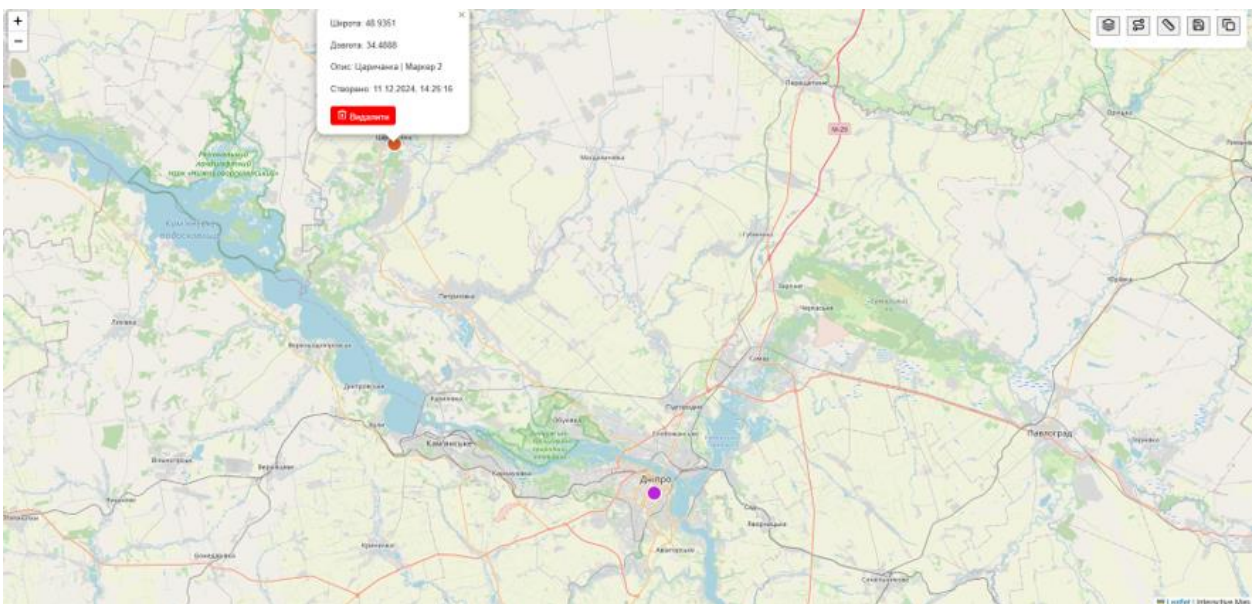


Рисунок 3.16 – Перегляд інформації про новий маркер

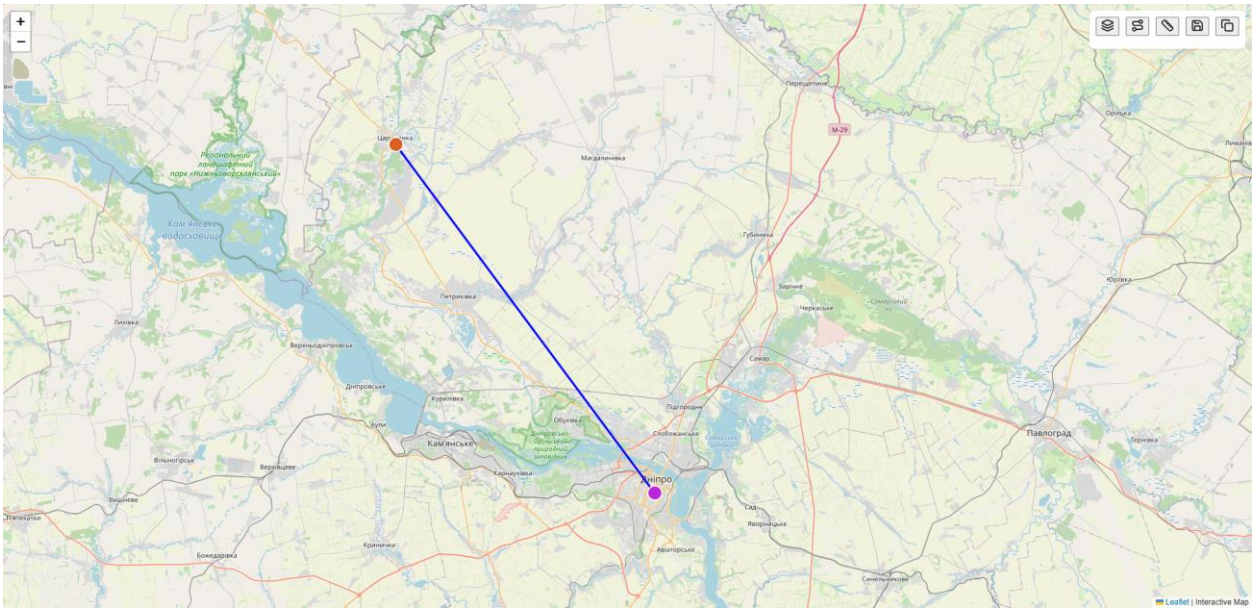


Рисунок 3.17 – Прокладений маршрут між маркерами

Для зберігання встановлених маркерів, необхідно використати інструмент «Збереження маркерів». Результат його роботи наведено на рисунку 3.18.

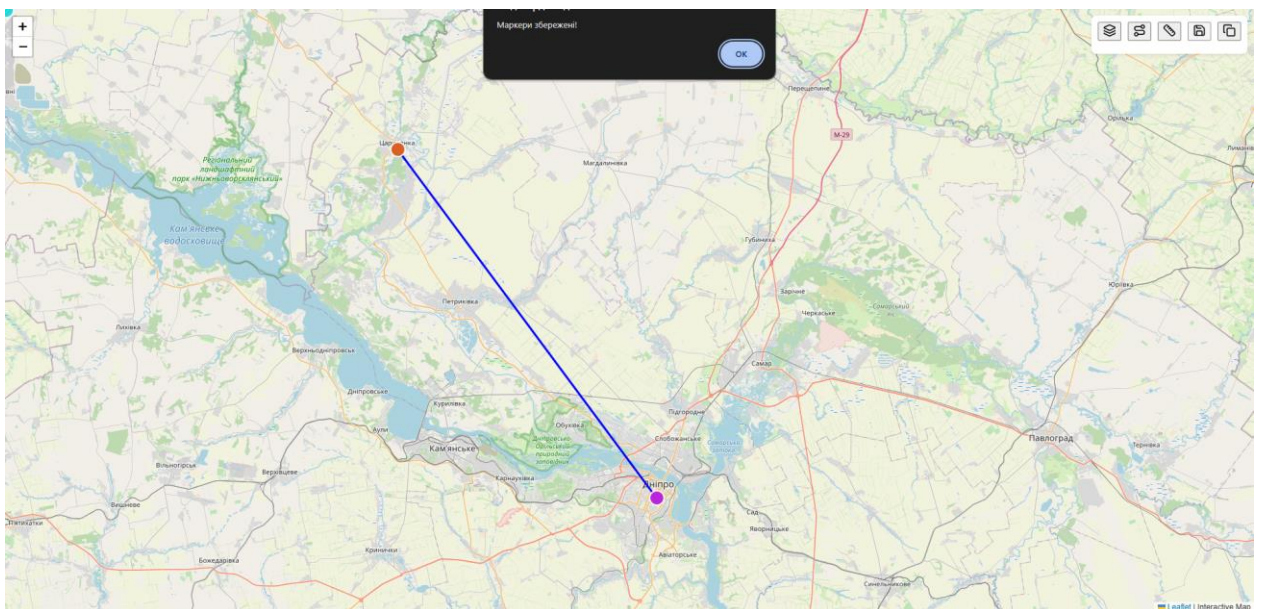


Рисунок 3.18 – Результат збереження маркерів

Як і раніше, перемикання шарів є доступним інструментом протягом усієї роботи програми (рис. 3.19).

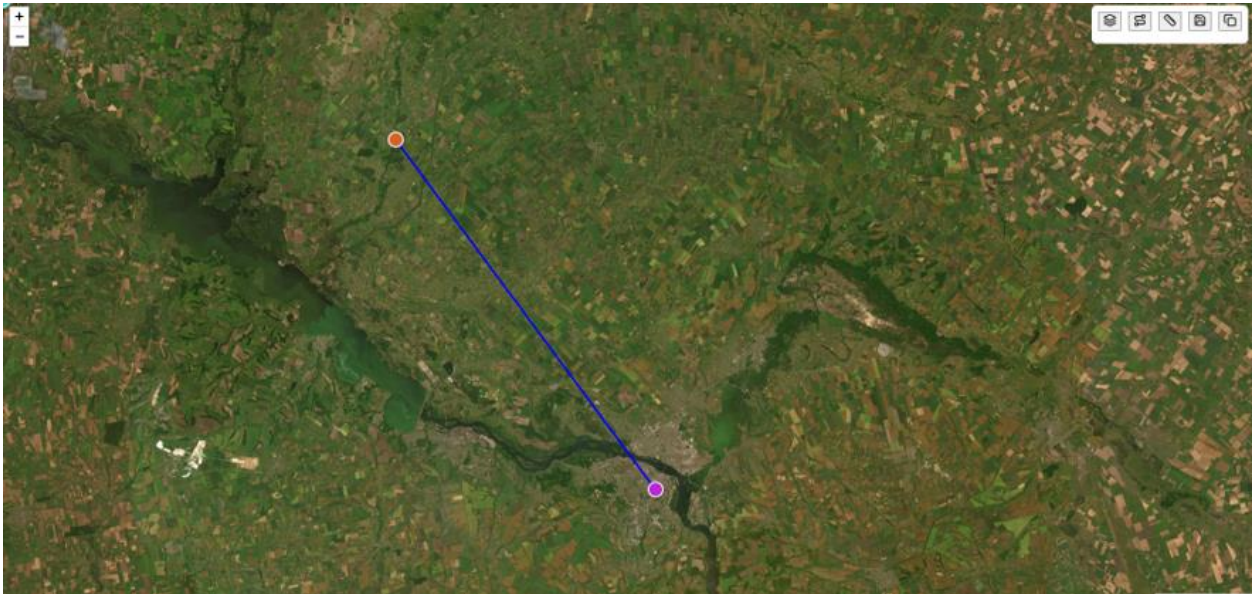


Рисунок 3.19 – Супутниковий шар при прокладеному маршруті

3.7 Висновки до третього розділу

Результати третього розділу демонструють досягнення поставленої мети та завдань розробки, а також підтверджують ефективність обраних технологій і підходів. Програмна реалізація інтерактивного вебдодатка для роботи з картографічними даними охопила всі ключові функціональні можливості, зокрема динамічну зміну шарів карти, створення, редагування та видалення маркерів, побудову маршрутів і вимірювання відстаней. В основі розробки лежали сучасні технології, такі як React, Leaflet і localStorage, які забезпечили високу продуктивність, зручність користування та адаптивність.

Створення модульної структури додатка дозволило чітко організувати функціональні блоки, спростивши їхню інтеграцію та подальше обслуговування. Використання React забезпечило компонентно-орієнтований підхід до побудови інтерфейсу, що підвищило його гнучкість та дозволило реалізувати динамічну взаємодію користувача з картою. Завдяки бібліотеці Leaflet вдалося інтегрувати роботу з інтерактивними картами, включно з відображенням маршрутів і обчисленням відстаней. Впровадження

localStorage сприяло збереженню даних між сесіями, надаючи користувачам можливість персоналізувати свій досвід без необхідності використання серверних ресурсів.

Особливу увагу було приділено зручності інтерфейсу. Реалізація кастомних іконок маркерів, інтуїтивно зрозумілих кнопок та адаптивного дизайну забезпечила високу якість взаємодії користувачів із системою, незалежно від типу пристрою. Адаптивність інтерфейсу дозволила коректно працювати з додатком на мобільних і десктопних пристроях. Візуальне розділення маркерів через унікальні кольорові позначки покращило орієнтацію користувачів на карті.

Ефективність виконання операцій з картою, навіть при великій кількості маркерів і маршрутів, досягалася завдяки оптимізації продуктивності через умовний рендеринг компонентів і реактивну обробку подій. Функціональність режиму вимірювання відстаней та побудови маршрутів продемонструвала точність і практичність обчислень, що є важливим для користувачів, які планують маршрути або проводять аналіз територій.

Усі функціональні можливості, включно зі створенням і редагуванням маркерів, побудовою маршрутів, динамічною зміною шарів карти та збереженням даних, реалізовані на високому рівні з урахуванням сучасних тенденцій у розробці програмного забезпечення. Програма забезпечує високий рівень безпеки, уникаючи обробки чутливої інформації на стороні сервера, і демонструє ефективне використання клієнтських ресурсів. Це дозволяє стверджувати, що розроблений вебдодаток повністю відповідає поставленим вимогам та є прикладом успішного впровадження сучасних підходів до розробки інтерактивних картографічних додатків.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі успішно розроблено інтерактивний ресурс картографічної моделі, який відповідає сучасним вимогам до візуалізації та аналізу просторових даних. Ресурс демонструє зручність, функціональність і ефективність у роботі з географічною інформацією.

Проведено аналіз сучасних технологій створення інтерактивних картографічних ресурсів, що дозволило сформулювати технічні вимоги до програмної реалізації. Запропоновано технічні рішення, які включають використання сучасних вебтехнологій (HTML5, CSS3, JavaScript) та бібліотек (Leaflet, Mapbox), що забезпечує динамічну взаємодію користувача з просторовими даними.

Розроблений інтерактивний ресурс пройшов тестування, що підтвердило його ефективність у різних галузях, таких як міське планування, екологічний моніторинг і логістика.

Практична значимість роботи полягає у можливості використання ресурсу в освітніх, наукових і комерційних цілях, а також у його здатності до адаптації відповідно до потреб користувачів. Інтеграція реальних даних та аналітичних функцій (кластеризація, аналіз гарячих точок) дозволила значно розширити функціональні можливості ресурсу та його застосування для прийняття рішень.

Визначено, що використання багаторівневої архітектури, стандартів форматів даних (GeoJSON, KML) та просторових баз даних (PostGIS) забезпечує масштабованість та продуктивність розробленого ресурсу. Враховано принципи доступності та інклюзивності (WCAG), що робить інтерактивний ресурс зручним для широкого кола користувачів, включаючи осіб з обмеженими можливостями.

Подальший розвиток інтерактивних ресурсів може включати використання технологій реального часу, штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування і моделювання складних просторових процесів.

Наукова новизна роботи полягає у створенні інтерактивного ресурсу, який поєднує інноваційні технології візуалізації та управління просторовими даними із сучасними вебінтерфейсами, що забезпечує новий рівень доступності та функціональності картографічних моделей.

Таким чином, представлена кваліфікаційна робота спрямована на вирішення актуальних задач інтерактивного картографування та є важливим внеском у розвиток інструментів для аналізу і візуалізації географічної інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. S. Gedicke, A. Bonerath, B. Niedermann, and J.-H. Haunert, “Zoomless Maps: External Labeling Methods for the Interactive Exploration of Dense Point Sets at a Fixed Map Scale”, *IEEE Trans. Visualization Comput. Graph.*, p. 1, 2020. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2020.3030399>
2. M. Lupei, M. Shlahta, O. Mitsa, Y. Horoshko, H. Tsybko, and V. Gorbachuk, “Development of an Interactive Map Within the Implementation of Actual State and Public Directions”, in *2022 12th Int. Conf. Adv. Comput. Inf. Technol. (ACIT)*, Ruzomberok, Slovakia, Sep. 26–28, 2022. IEEE, 2022. <https://doi.org/10.1109/acit54803.2022.9913191>
3. Y. Chung, W. Lu, and X. Tian, “Interactive Segmentation Using Prior Knowledge-Based Distance Map”, in *2021 8th Int. Conf. Inf., Cybern., Comput. Social Syst. (ICCSS)*, Beijing, China, Dec. 10–12, 2021. IEEE, 2021. <https://doi.org/10.1109/iccss53909.2021.9721959>
4. K. Promneewat, T. Taksavasu, N. Mankhemthong, and N. Siritongkham, “Offline Interactive Map from Hybrid App Development: A Case from Geologic Map App”, in *2023 27th Int. Comput. Sci. Eng. Conf. (ICSEC)*, Samui Island, Thailand, Sep. 14–15, 2023. IEEE, 2023. <https://doi.org/10.1109/icsec59635.2023.10329783>
5. A. Rane, V. N. John, and S. Murthy, “GeoMaps: An interactive application to enhance map comprehension skills of students”, in *2020 IEEE 20th Int. Conf. Adv. Learn. Technol. (ICALT)*, Tartu, Estonia, Jul. 6–9, 2020. IEEE, 2020. <https://doi.org/10.1109/icalt49669.2020.00083>
6. K. Chai and Y. Li, “Cultural Heritage Assets Optimization Workflow for Interactive System Development”, in *2022 IEEE 46th Annu. Comput., Softw., Appl. Conf. (COMPSAC)*, Los Alamitos, CA, USA, Jun. 27–Jul. 1, 2022. IEEE, 2022. <https://doi.org/10.1109/compsac54236.2022.00290>

7. A. Alvarez-Ayllon, M. Palomo-Duarte, and J.-M. Dodero, “Interactive Data Exploration of Distributed Raw Files: A Systematic Mapping Study”, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 10691–10717, 2019. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2882244>
8. N. Kotani and S. Mizuno, “A Proposal of Interactive Projection Mapping by Touching Rays Visualized by Smoke”, in *2019 Nicograph Int. (NicoInt)*, Yangling, China, Jul. 5–7, 2019. IEEE, 2019. <https://doi.org/10.1109/nicoInt.2019.00035>
9. A. Setiyadi and E. B. Setiawan, “Comparative Analysis of Interactive Map Data Loading Using the GeoJSON Method for West Java New Entrepreneurs”, in *2023 Int. Conf. Inform. Eng., Sci. Technol. (INCITEST)*, Bandung, Indonesia, Oct. 25, 2023. IEEE, 2023. <https://doi.org/10.1109/incitest59455.2023.10396976>
10. C. V. Marian, M. Iacob, and D. A. Mitrea, “GIS-based integrated system with Interactive Digital Map for archaeological heritage protection”, in *2022 14th Int. Conf. Electron., Comput. Artif. Intell. (ECAI)*, Ploiesti, Romania, Jun. 30–Jul. 1, 2022. IEEE, 2022. <https://doi.org/10.1109/ecai54874.2022.9847439>
11. T. Zemskova, A. Staroverov, K. Muravyev, D. A. Yudin, and A. I. Panov, “Interactive Semantic Map Representation for Skill-Based Visual Object Navigation”, *IEEE Access*, vol. 12, pp. 44628–44639, 2024. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3380450>
12. G. Liu, B. Yu, L. Huang, L. Shi, X. Gao, and L. He, “Human-interactive Mapping Method for Indoor Magnetic Based on Low-cost MARG Sensors”, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, p. 1, 2021. <https://doi.org/10.1109/tim.2021.3052026>
13. M. G. Besselmann, L. Puck, L. Steffen, A. Roennau, and R. Dillmann, “VDB-Mapping: A High Resolution and Real-Time Capable 3D Mapping Framework for Versatile Mobile Robots”, in *2021 IEEE 17th Int. Conf. Automat. Sci. Eng. (CASE)*, Lyon, France, Aug. 23–27, 2021. IEEE, 2021. <https://doi.org/10.1109/case49439.2021.9551430>

14. Y.-Y. Huang, J.-J. Ding, and S.-C. Hua, “Saliency and Detail Map Interactive Model for Salient Region Detection”, in *2023 IEEE Int. Conf. Vis. Commun. Image Process. (VCIP)*, Jeju, Korea, Republic of, Dec. 4–7, 2023. IEEE, 2023. <https://doi.org/10.1109/vcip59821.2023.10402694>

15. K. Koide, J. Miura, M. Yokozuka, S. Oishi, and A. Banno, “Interactive 3D Graph SLAM for Map Correction”, *IEEE Robot. Automat. Lett.*, vol. 6, no. 1, pp. 40–47, Jan. 2021. <https://doi.org/10.1109/lra.2020.3028828>

ДОДАТКИ

Додаток А

Лістинг програмного коду

```
import React from 'react';
import ReactDOM from 'react-dom/client';
import './index.css';
import App from './App';
// import reportWebVitals from './reportWebVitals';

const root = ReactDOM.createRoot(document.getElementById('root'));
root.render(
  <React.StrictMode>
    <App />
  </React.StrictMode>
);

// If you want to start measuring performance in your app, pass a function
// to log results (for example: reportWebVitals(console.log))
// or send to an analytics endpoint. Learn more: https://bit.ly/CRA-vitals
// reportWebVitals();

{
  "name": "project",
  "version": "0.1.0",
  "private": true,
  "dependencies": {
    "cra-template": "1.2.0",
```

```
"leaflet": "^1.9.4",
"lucide-react": "^0.468.0",
"react": "^18.3.1",
"react-dom": "^18.3.1",
"react-leaflet": "^4.2.1",
"react-scripts": "5.0.1"
},
"scripts": {
  "start": "react-scripts start",
  "build": "react-scripts build",
  "test": "react-scripts test",
  "eject": "react-scripts eject"
},
"eslintConfig": {
  "extends": [
    "react-app",
    "react-app/jest"
  ]
},
"browserslist": {
  "production": [
    ">0.2%",
    "not dead",
    "not op_mini all"
  ],
  "development": [
    "last 1 chrome version",
    "last 1 firefox version",
    "last 1 safari version"
```

```

    ]
  }
}

```

```

import React, { useState, useEffect, useCallback } from 'react';
import { MapContainer, TileLayer, Marker, Popup, useMapEvents, Polyline }
from 'react-leaflet';
import 'leaflet/dist/leaflet.css';
import L from 'leaflet';
import { Trash2, Save, PlusCircle, Layers, Route, Ruler, Copy } from 'lucide-
react';

// Leaflet icon fix
delete L.Icon.Default.prototype._getIconUrl;
L.Icon.Default.mergeOptions({
  iconRetinaUrl: 'https://unpkg.com/leaflet@1.7.1/dist/images/marker-icon-
2x.png',
  iconUrl: 'https://unpkg.com/leaflet@1.7.1/dist/images/marker-icon.png',
  shadowUrl: 'https://unpkg.com/leaflet@1.7.1/dist/images/marker-shadow.png'
});

// Custom map hook for click events
const MapClickHandler = ({ onMapClick }) => {
  useMapEvents({
    click: (event) => {
      const { lat, lng } = event.latlng;
      onMapClick({ latitude: lat, longitude: lng });
    }
  });
};

```

```

    return null;
};

// Custom marker icon creator
const createCustomIcon = (color) => {
  return L.divIcon({
    className: 'custom-marker',
    html: `

Kuiv
  const [zoomLevel, setZoomLevel] = useState(6);
  const [mapType, setMapType] = useState('standard');
  const [measurementMode, setMeasurementMode] = useState(false);
  const [measurementPoints, setMeasurementPoints] = useState([]);
  const [totalDistance, setTotalDistance] = useState(0);

  // Map type layers
  const mapTypes = {
    standard: 'https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png',


```

```

    satellite:
      'https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/{z}/{y}/{x}',
      terrain: 'https://stamen-tiles-{s}.a.ssl.fastly.net/terrain/{z}/{x}/{y}{r}.png'
  };

```

// Marker management

```

const handleMapClick = (newMarker) => {
  const description = prompt("Введіть опис для цієї точки:");
  const color = `hsl(${Math.random() * 360}, 70%, 50%)`;

  const markerWithDetails = {
    ...newMarker,
    id: Date.now(),
    description: description || "Без опису",
    color: color,
    timestamp: new Date().toLocaleString()
  };

  setMarkers(prevMarkers => [...prevMarkers, markerWithDetails]);
};

const removeMarker = (id) => {
  setMarkers(prevMarkers => prevMarkers.filter(marker => marker.id !== id));
};

```

// Route creation

```

const createRoute = () => {
  if (markers.length < 2) {

```

```
    alert("Потрібно мати принаймні 2 маркери для створення маршруту");  
    return;  
  }
```

```
    const routeCoordinates = markers.map(marker => [marker.latitude,  
marker.longitude]);  
    setRoutes(prevRoutes => [...prevRoutes, routeCoordinates]);  
  };
```

// Measurement functionality

```
const startMeasurement = () => {  
  setMeasurementMode(true);  
  setMeasurementPoints([]);  
  setTotalDistance(0);  
};
```

```
const calculateDistance = (point1, point2) => {  
  return L.latLng(point1).distanceTo(L.latLng(point2)) / 1000; // Convert to  
kilometers  
};
```

```
const addMeasurementPoint = (point) => {  
  if (measurementMode) {  
    const newPoints = [...measurementPoints, [point.latitude, point.longitude]];  
    setMeasurementPoints(newPoints);  
  
    if (newPoints.length > 1) {  
      const lastTwoPoints = newPoints.slice(-2);
```

```

        const segmentDistance = calculateDistance(lastTwoPoints[0],
lastTwoPoints[1]);
        setTotalDistance(prev => prev + segmentDistance);
    }
}
};
// Save and load markers
const saveMarkers = () => {
    localStorage.setItem('savedMarkers', JSON.stringify(markers));
    alert('Маркери збережені!');
};
const loadMarkers = () => {
    const savedMarkers = localStorage.getItem('savedMarkers');
    if (savedMarkers) {
        setMarkers(JSON.parse(savedMarkers));
    }
};
return (
    <div style={{ height: "100vh", width: "100%", position: "relative" }}>
        <div style={{
            position: 'absolute',
            top: 10,
            right: 10,
            zIndex: 1000,
            background: 'white',
            padding: '10px',
            borderRadius: '8px',
            boxShadow: '0 2px 5px rgba(0,0,0,0.1)'
        }}>

```



```

<div style={{ display: 'flex', gap: '10px', marginBottom: '10px' }}>
  <button onClick={() => setMapType(prev => prev === 'standard' ?
'satellite' : 'standard')}>
    <Layers size={20} />
  </button>
  <button onClick={createRoute}>
    <Route size={20} />
  </button>
  <button onClick={startMeasurement}>
    <Ruler size={20} />
  </button>
  <button onClick={saveMarkers}>
    <Save size={20} />
  </button>
  <button onClick={loadMarkers}>
    <Copy size={20} />
  </button>
</div>
{measurementMode && (
  <div>
    <p>Загальна відстань: {totalDistance.toFixed(2)} км</p>
  </div>
)}
</div>
<MapContainer
  center={mapCenter}
  zoom={zoomLevel}
  style={{ height: "100%", width: "100%" }}
>

```

```

<TileLayer
  url={mapTypes[mapType]}
  attribution='Interactive Map'
/>

<MapClickHandler onMapClick={measurementMode ?
addMeasurementPoint : handleMapClick} />

{markers.map(marker => (
  <Marker
    key={marker.id}
    position={[marker.latitude, marker.longitude]}
    icon={createCustomIcon(marker.color)}
  >
    <Popup>
      <div>
        <p>Широта: {marker.latitude.toFixed(4)}</p>
        <p>Довгота: {marker.longitude.toFixed(4)}</p>
        <p>Опис: {marker.description}</p>
        <p>Створено: {marker.timestamp}</p>
        <button
          onClick={() => removeMarker(marker.id)}
          style={{
            backgroundColor: 'red',
            color: 'white',
            padding: '5px 10px',
            border: 'none',
            borderRadius: '4px'
          }}
        >

```

```

        <Trash2 size={16} /> Видалити
      </button>
    </div>
  </Popup>
</Marker>
)}}
{routes.map((route, index) => (
  <Polyline
    key={index}
    positions={route}
    color="blue"
    weight={3}
  />
)}}
{measurementMode && (
  <Polyline
    positions={measurementPoints}
    color="red"
    weight={3}
  />
)}
</MapContainer>
</div>
);
};

export default InteractiveMap;

```