

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра інформаційних технологій

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»

**«Розробка геоінформаційної системи для візуалізації та
аналізу об'єктів нерухомості»**

(тема кваліфікаційної роботи українською мовою)

**«Development of a geoinformation system for visualization
and analysis of real estate objects»**

(тема кваліфікаційної роботи англійською мовою)

Виконав: здобувач денної форми навчання
спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(код, назва спеціальності)

Освітня програма Комп'ютерні науки

(назва)

ПІГАР Владислав Ігорович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник Phd комп. наук, доцент Бучинська І.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент Департамент інформації та цифрових рішень Одеської
міської ради, головний спеціаліст відділу впровадження
інформаційних технологій, Клепатська В.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
Інформаційних технологій

№ від 2025 р.

Завідувачка кафедри

КАЗАКОВА Надія

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК №
протокол № від 2025 р.

Оцінка / /
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

КОПИЧЕНКО Іван

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Одеса 2025

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто процес розробки геоінформаційної системи для візуалізації та аналізу об'єктів нерухомості. Основною метою є створення програмного засобу, який дозволяє ефективно працювати з просторовими даними, зокрема здійснювати відображення об'єктів на карті, застосовувати фільтрацію за заданими критеріями, а також переглядати детальну інформацію про об'єкти. Актуальність роботи обумовлена потребою у сучасних цифрових інструментах, що забезпечують просторову аналітику в галузі нерухомості.

В роботі представлено структура геоінформаційної системи, побудовано модель бази даних, реалізовано засоби інтерактивної взаємодії користувача з картою. Визначено основні критерії вибору об'єкта (близькість до транспорту, інфраструктури, екологія, адміністративні межі тощо) та реалізовано механізм фільтрації на основі просторового аналізу. Система забезпечує інтеграцію з зовнішніми картографічними сервісами (наприклад, Leaflet.js) та підтримує динамічне оновлення даних.

Результатом роботи є веб-застосунок, який дозволяє користувачам здійснювати пошук та перегляд нерухомості з урахуванням географічного положення та супутніх факторів. Запропоноване рішення може бути використане як у приватних агентствах нерухомості, так і в міському плануванні чи аналітичних відділах. Отримані результати свідчать про ефективність застосування геоінформаційних технологій для підтримки прийняття рішень у сфері управління нерухомістю.

ANNOTATION

This qualification work presents the development of a geographic information system (GIS) for the visualization and analysis of real estate objects. The main goal is to create a software tool that enables efficient interaction with spatial data, including displaying objects on a map, applying filters based on specific criteria, and viewing detailed information about each property. The relevance of the work is determined by the growing demand for modern digital tools that support spatial analytics in the real estate sector.

The structure of the GIS is described in the work, including the database model, and interactive map-based user interface components. Key selection criteria (proximity to transport, infrastructure, ecological conditions, administrative boundaries, etc.) are defined, and a filtering mechanism based on spatial analysis is implemented. The system integrates with external mapping services (such as Leaflet.js) and supports dynamic data updates.

As a result, a web application was developed that enables users to search for and view real estate listings based on geographic location and relevant attributes. The proposed solution can be applied both in private real estate agencies and in urban planning or analytical departments. The results demonstrate the effectiveness of using GIS technologies to support decision-making in real estate management.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Сучасний стан ринку нерухомості та потреби в геоінформаційних технологіях.....	10
1.2 Огляд існуючих геоінформаційних систем у сфері нерухомості	11
1.3 Сучасні підходи до візуалізації та аналізу просторових даних .	12
1.4 Інформаційна структура і джерела даних	13
1.5 Виклики та обмеження.....	13
2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ТА НЕФУНКЦІОНАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ	16
2.1 Функціональні вимоги	16
2.2 Нефункціональні вимоги	17
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АРХІТЕКТУРНОГО РІШЕННЯ ТА ІНСТРУМЕНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	19
3.1 Архітектурне рішення системи.....	19
3.2 Вибір інструментів реалізації:.....	19
3.3 Опис моделі бази даних	20
3.4 Характеристика діаграми.....	20
4 ПРОЄКТУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	24
4.1 Архітектура системи	24
4.2 Структура бази даних об'єктів нерухомості	25
4.3 Моделювання просторових об'єктів.....	28
4.4 Розробка UI/UX для візуалізації об'єктів.....	31
4.5 Тестування працездатності системи	39
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

API – Application Programming Interface – інтерфейс прикладного програмування, який дозволяє програмам взаємодіяти між собою.

Leaflet.js – JavaScript бібліотека з відкритим кодом для побудови інтерактивних карт.

POI – Point of Interest – точкові об'єкти на карті, що мають практичне або інформаційне значення (магазини, аптеки, школи тощо).

PostGIS – розширення для PostgreSQL, що дозволяє зберігати та обробляти географічні об'єкти.

UI – User Interface – інтерфейс користувача, графічна оболонка для взаємодії користувача з програмою.

WMS – Web Map Service – стандарт для передачі картографічних зображень через інтернет.

БД – База даних – впорядкований набір структурованих інформаційних даних, що зберігається електронним способом.

Буферна зона – область навколо географічного об'єкта, в межах якої проводиться просторовий аналіз (наприклад, пошук зупинок транспорту).

ГІС – Геоінформаційна система – інформаційна система для збору, зберігання, аналізу та візуалізації просторових (географічних) даних.

Фільтр – механізм відбору об'єктів, що відповідають заданим умовам (за ціною, площею, типом тощо).

ВСТУП

У сучасному інформаційному суспільстві просторові дані відіграють ключову роль у прийнятті управлінських, соціально-економічних та бізнес-рішень. Однією з найбільш актуальних сфер застосування геоінформаційних технологій є ринок нерухомості, де наочне представлення та аналітична обробка просторових об'єктів дозволяє підвищити ефективність їхнього управління, моніторингу й планування.

Розвиток цифрових картографічних сервісів та інструментів візуалізації даних створює передумови для побудови інтелектуальних геоінформаційних систем (ГІС), які здатні інтегрувати просторову та семантичну інформацію про об'єкти нерухомості. Проте існуючі рішення часто мають обмежену гнучкість, недостатній функціонал для глибокого аналізу, або не адаптовані до специфіки локального ринку.

Метою даної роботи є проєктування та розробка ГІС для візуалізації й аналізу об'єктів нерухомості, яка забезпечує відображення географічного розташування, категоризацію за параметрами, інтерактивний пошук, а також базові інструменти просторового аналізу. У процесі роботи передбачено дослідження предметної області, формалізацію вимог, вибір відповідного програмного забезпечення та реалізацію прототипу системи з відкритою архітектурою.

Актуальність теми зумовлена зростаючою потребою в автоматизованих платформах для обробки геопросторових даних у сфері нерухомості, що є важливим компонентом цифрової трансформації міського середовища та інфраструктурного планування.

Об'єкт дослідження: Процеси візуалізації, аналізу та прийняття рішень у сфері нерухомості на основі геоінформаційних технологій.

Предмет дослідження: Методи, моделі та інструменти розробки геоінформаційної системи для інтерактивної роботи з просторовими даними об'єктів нерухомості, зокрема відображення, фільтрації, аналізу придатності та інтеграції з картографічними сервісами.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні основні завдання:

- 1.Провести аналіз предметної області та сучасних ГІС у сфері нерухомості.
- 2.Функціональні та нефункціональні вимоги до системи.
- 3.Обґрунтувати вибір архітектурного рішення та інструментів реалізації.
- 4.Розробити структуру бази даних для зберігання просторових та описових характеристик об'єктів.
- 5.Реалізувати інтерфейс користувача з можливістю візуалізації об'єктів на карті.
- 6.Забезпечити фільтрацію, пошук та базовий просторовий аналіз даних.
- 7.Провести тестування реалізованої системи та оцінити її функціональність.

У роботі розглянуто процес проєктування та реалізації геоінформаційної системи (ГІС), призначеної для візуалізації та аналізу об'єктів нерухомості. Система дозволяє відображати розташування об'єктів на карті, виконувати фільтрацію за ключовими параметрами (тип, площа, вартість тощо), здійснювати пошук і проводити базовий просторовий аналіз. Проведено аналіз предметної області, сформульовано вимоги до функціональності системи, обґрунтовано вибір технологій для реалізації, таких як Leaflet.js для картографії, PostgreSQL/PostGIS для зберігання геоданих та Django як серверного фреймворку. Результатом роботи є створення прототипу інтерактивного вебзастосунку з відкритою архітектурою та можливістю подальшого масштабування.

Ключові слова: геоінформаційна система, нерухомість, просторовий аналіз, візуалізація даних, вебдодаток, Leaflet, PostGIS.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Сучасний стан ринку нерухомості та потреби в геоінформаційних технологіях

У XXI столітті цифрова трансформація охоплює практично всі галузі економіки, і ринок нерухомості не є винятком. Сучасні тенденції містобудування, потреби у прозорості ринку, зростаюча мобільність населення та урбанізаційні процеси формують нові виклики до систем управління інформацією про нерухомість.

Геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують збирання, обробку, зберігання, аналіз та візуалізацію просторових даних, які відіграють вирішальну роль у прийнятті рішень щодо розміщення, оцінки, купівлі та продажу об'єктів нерухомості. За даними дослідження [UN-Habitat, 2023], інтеграція просторової аналітики у стратегії урбаністичного планування дозволяє зменшити витрати на інфраструктуру до 25%[1].

Однією з ключових проблем традиційного підходу до управління нерухомістю є фрагментація даних. Інформація про власність, технічні характеристики, цільове призначення земельних ділянок, екологічну ситуацію, транспортну доступність тощо зазвичай зберігається у розрізних джерелах. ГІС дозволяє поєднати ці джерела в єдину інформаційну систему (рис. 1.1).

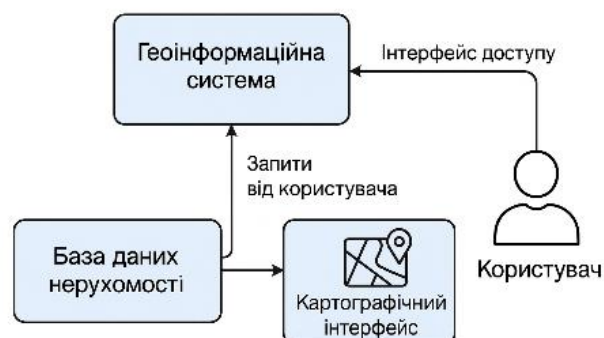


Рисунок 1.1 – Загальна структура геоінформаційної системи для ринку нерухомості

Умовна схема з базами даних, картографічним шаром, інтерфейсом користувача.

1.2 Огляд існуючих геоінформаційних систем у сфері нерухомості

Серед провідних рішень на ринку слід зазначити такі:

- Zillow (США): пропонує інтеграцію з інтерактивною картою, даними про ціни, історію транзакцій, індекси ринку та прогнозування вартості об'єктів (рис. 1.2).
- LandVision: використовується для комерційної нерухомості, пропонує аналіз зонування, транспортної доступності та щільності населення.
- ArcGIS Urban: розроблена компанією Esri, забезпечує тривимірне моделювання міської забудови та прогнозування сценаріїв розвитку території.

У більшості випадків ці системи орієнтовані на ринок США або Західної Європи. Локальні ринки потребують адаптації ГІС до законодавчої бази, специфіки кадастрів, мовних особливостей та інфраструктури обміну даними.

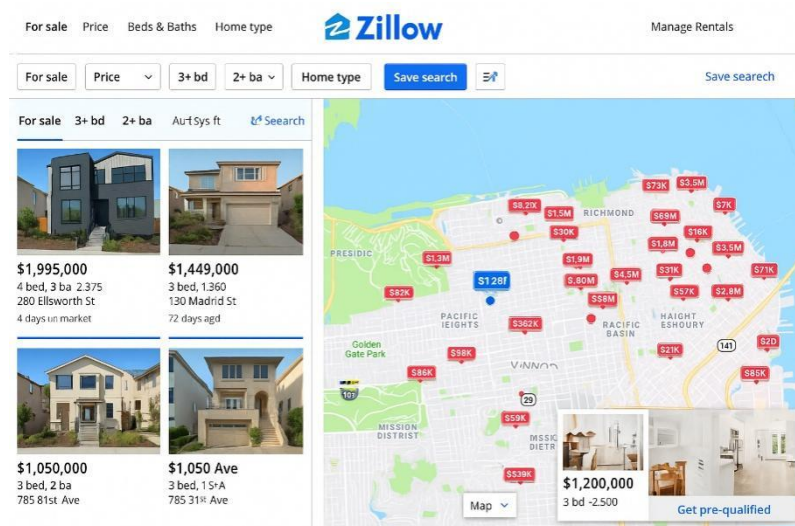


Рисунок 1.2 – Приклад інтерфейсу системи Zillow з інтерактивною картою

1.3 Сучасні підходи до візуалізації та аналізу просторових даних

Згідно з [Wang et al., 2022], найбільш перспективними є наступні підходи:

- WebGIS: реалізація ГІС у вигляді веб-додатків з інтерактивною картою, адаптивним дизайном та доступом із різних пристроїв (рис.3).
- 3D-моделювання: дозволяє відображати поверховість будівель, інсоляцію, затінення, щільність забудови.
- Big Data GIS: поєднання з потоками великих даних (трафік, соціальні медіа, сенсори IoT) для реального моніторингу.
- ML/AI-аналітика: застосування машинного навчання для прогнозування цін, виявлення аномалій, кластеризації об'єктів.

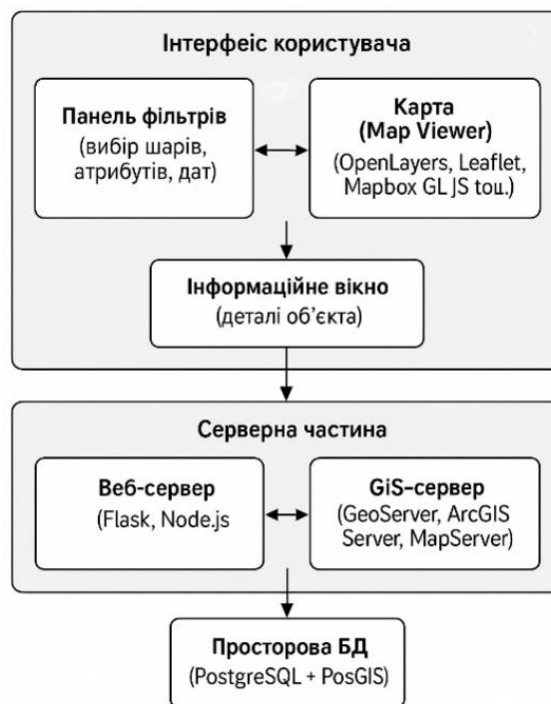


Рисунок 1.3 – Схема типового WebGIS-додатку з фільтрами, картою та інформаційним вікном

1.4 Інформаційна структура і джерела даних

Для створення ефективної ГІС у сфері нерухомості необхідно забезпечити інтеграцію наступних типів даних (рис. 1.4):

- кадастрові дані (координати, цільове призначення)
- адміністративні межі (місто, район, квартал)
- інфраструктура (транспорт, комунікації, об'єкти соціальної сфери)
- ринкова інформація (ціни, попит, історія транзакцій)
- екологічні параметри (зелена зона, рівень шуму)

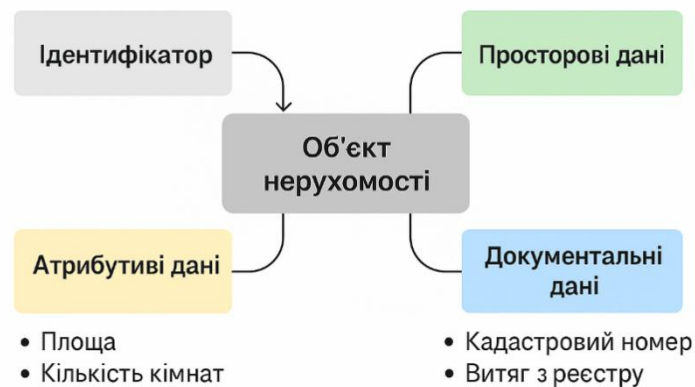


Рисунок 1.4 – Інформаційна модель об'єкта нерухомості в ГІС

1.5 Виклики та обмеження

- фрагментація джерел: труднощі з уніфікацією форматів даних та оновленням інформації в реальному часі.
- висока вартість супутникових знімків: особливо для малого бізнесу або громадських організацій.
- проблеми з захистом персональних даних: при зберіганні та аналізі даних про власників об'єктів.

Геоінформаційні системи є стратегічним інструментом цифровізації сфери нерухомості. Вони дозволяють не лише оптимізувати процеси обліку та візуалізації об'єктів, але й підтримують ухвалення рішень, прогнозування цінових тенденцій, оцінку ризиків та перспектив розвитку територій.

Розробка національних або регіональних систем з урахуванням локальної специфіки, стандартів та нормативної бази є важливим кроком на шляху до побудови ефективної інформаційної інфраструктури у сфері нерухомості.

На рис. 1.6 зображено основні функціональні можливості геоінформаційної системи для візуалізації та аналізу об'єктів нерухомості, представлені у вигляді Use Case моделі. У центрі перебуває система, яка забезпечує взаємодію двох типів користувачів: звичайного користувача (покупця або орендаря) та адміністратора, який має розширені повноваження для керування базою об'єктів.



Рисунок 1.6 – Інформаційна модель об'єкта нерухомості в ГІС

Користувач має змогу переглядати карту з об'єктами нерухомості, здійснювати пошук за заданими параметрами (ціна, площа, тип), отримувати розширену інформацію про конкретний об'єкт (опис, координати, фото) та проходити реєстрацію або авторизацію в системі. Усі ці функції спрямовані на зручність роботи з просторовими даними та підвищення інформативності при прийнятті рішень щодо купівлі або оренди нерухомості [2].

Адміністратор, крім функцій звичайного користувача, має доступ до керування об'єктами — тобто додавання, редагування або видалення об'єктів з бази даних. Це дозволяє підтримувати актуальність і повноту інформації в

системі. Таким чином, діаграма відображає логіку взаємодії різних ролей із ключовими функціями системи у контексті управління нерухомістю.

2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ТА НЕФУНКЦІОНАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ

Проектування будь-якої інформаційної системи, зокрема ГІС у сфері нерухомості, вимагає чіткого формулювання функціональних та нефункціональних вимог [3]. Це дозволяє системно підійти до реалізації архітектури, логіки взаємодії компонентів, вибору інструментів і забезпечити якість роботи системи відповідно до очікувань користувачів.

2.1 Функціональні вимоги

Функціональні вимоги визначають перелік операцій і дій, які повинна виконувати система у рамках своєї предметної області.

Однією з основних функцій є візуалізація об'єктів на карті. Кожен об'єкт нерухомості має бути відображений як маркер або полігон на інтерактивній карті з підтримкою геолокації. При взаємодії з цими об'єктами користувач повинен отримати коротку інформацію: тип, площу, ціну, адресу та інше.

Не менш важливою є функція пошуку та фільтрації. Система повинна забезпечувати можливість багатокритеріального пошуку: за типом об'єкта, площею, вартістю, районом, статусом. Також має бути реалізована можливість географічного пошуку – наприклад, у межах заданого полігону або радіусу.

Особливу роль у системі відіграють просторові запити, які виконуються за допомогою розширення PostGIS до бази даних PostgreSQL. До таких запитів належать: визначення об'єктів у межах певної зони (ST_Within), пошук за відстанню (ST_DWithin), аналіз придатності розміщення.

Система повинна мати можливість додавання, редагування та видалення об'єктів нерухомості. Ці операції можуть бути доступні лише авторизованим користувачам. Для кожного об'єкта мають зберігатися

пов'язані дані: фотографії, опис, координати, дата створення, контактна інформація.

Серед функцій інтерфейсу виділяється адаптивний дизайн з інтуїтивною структурою для мобільних та десктопних пристроїв. Інтерфейс має включати головну карту, панель фільтрів, інформаційні картки об'єктів, модуль пошуку та панель шарів.

Необхідна реалізація REST API для зовнішнього доступу до функціоналу: пошук об'єктів, отримання інформації, додавання нових елементів. Це важливо як для інтеграції з муніципальними платформами, так і для побудови мобільного клієнта.

Також система повинна підтримувати збереження в “обране”, формування історії переглядів та логування дій користувачів для подальшого аналітичного опрацювання.

2.2 Нефункціональні вимоги

Нефункціональні вимоги стосуються характеристик якості системи — продуктивності, безпеки, надійності, масштабованості тощо.

Продуктивність системи передбачає швидкий відгук: час завантаження карти не повинен перевищувати 3 секунд, обробка API-запиту має відбуватись за <1 секунду при 100 одночасних запитах, а відображення результатів — без помітних затримок.

Масштабованість забезпечується модульною архітектурою. Система повинна мати можливість подальшого розширення: додавання нових функцій, фільтрів, підтримка зовнішніх сервісів (наприклад, кадастрових даних), розгортання в хмарному середовищі.

Безпека включає автентифікацію користувачів, шифрування даних, захист API, а також реалізацію стандартних заходів протидії атакам (SQL-ін'єкції, XSS, CSRF). Персональні дані мають зберігатися із застосуванням захищених механізмів.

Надійність означає відмовостійкість системи: обробку помилок, наявність журналів, автоматичне резервне копіювання бази, можливість відновлення після збою.

Сумісність передбачає підтримку всіх основних браузерів (Chrome, Firefox, Safari) та мобільних платформ. Система має правильно відображатися на пристроях з різною роздільною здатністю.

Доступність повинна відповідати рекомендаціям WCAG 2.1: контрастні кольори, доступність клавіатурної навігації, зрозуміла структура, адаптація до потреб людей з інвалідністю.

Тестованість забезпечується наявністю модульних та інтеграційних тестів, покриттям основних компонентів функціоналу (пошук, API, фільтри), UI/UX тестуванням, а також виконанням навантажувального тестування перед релізом.

Формалізація функціональних та нефункціональних вимог є критично важливим етапом проектування геоінформаційної системи. Завдяки цьому можна забезпечити не лише відповідність потребам користувачів, а й технічну ефективність, стабільність та зручність системи. Усі вимоги тісно пов'язані з архітектурою проєкту, логікою реалізації та обраним стеком технологій. Їх виконання є запорукою створення конкурентоспроможного, масштабованого та сучасного вебзастосунку в галузі цифрової нерухомості.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АРХІТЕКТУРНОГО РІШЕННЯ ТА ІНСТРУМЕНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ

У цьому розділі розглядається обґрунтування вибору архітектурного рішення та інструментів реалізації ГІС для аналізу й візуалізації об'єктів нерухомості. Вибір технологій ґрунтується на аналізі функціональних та нефункціональних вимог до системи, особливостей предметної області та сучасних тенденцій розробки веборієнтованих ГІС [4].

3.1 Архітектурне рішення системи

Архітектура системи: Обрано трирівневу клієнт-серверну архітектуру, що складається з презентаційного рівня (веб-інтерфейс на HTML5, CSS3, JavaScript), логічного рівня (сервер додатків на основі ASP.NET Core або Node.js) та рівня збереження даних (база даних на PostgreSQL з розширенням PostGIS). Така структура забезпечує масштабованість, безпеку, гнучкість і розподіл навантаження між компонентами системи [5].

Переваги такого підходу: масштабованість та адаптивність системи; можливість роздільного розвитку компонентів; спрощення обслуговування та розгортання; підвищення безпеки через чіткий розподіл обов'язків між рівнями.

3.2 Вибір інструментів реалізації:

Вибір програмного забезпечення та інструментів зумовлений вимогами до просторового аналізу, гнучкості розробки, масштабованості та відкритості платформи.

Leaflet.js: легка JavaScript-бібліотека для візуалізації об'єктів нерухомості на карті у веб-інтерфейсі, підтримує масштабування, маркери, геооб'єкти.. Ця бібліотека дозволяє ефективно працювати з інтерактивними картами [6].

PostgreSQL/PostGIS: як система керування базами даних з підтримкою просторових запитів. Вибір обумовлений можливістю ефективного зберігання та обробки геопросторових даних.

Django: як серверний фреймворк для реалізації бізнес-логіки, REST API та взаємодії з базою даних, що забезпечує модульність, швидкість розробки та гнучке налаштування.

Таке поєднання архітектурних рішень і технологічного стеку сприяє створенню стабільної, масштабованої та функціонально насиченої геоінформаційної системи для аналізу об'єктів нерухомості.

3.3 Опис моделі бази даних

Основна сутність — об'єкт нерухомості, представлений у вигляді таблиці Property з такими полями: id, name, address, type, price, area, geometry, description. Додатково створено таблиці PropertyType, User для зберігання типів об'єктів та обліку користувачів.

Інтеграція PostGIS дозволяє використовувати просторові індекси, виконувати запити на перетин, включення у полігон, фільтрацію за координатами тощо

3.4 Характеристика діаграми

Для проектування функціоналу використано діаграми UML:

Use Case діаграма демонструє сценарії використання (перегляд мапи, фільтрація, реєстрація, редагування даних).

Sequence діаграма (рис. 3.1) показує взаємодію компонентів під час запиту користувача на пошук об'єктів. Sequence-діаграма, яка ілюструє процес пошуку об'єктів нерухомості користувачем через вебдодаток: від ініціації запиту до відображення результатів.

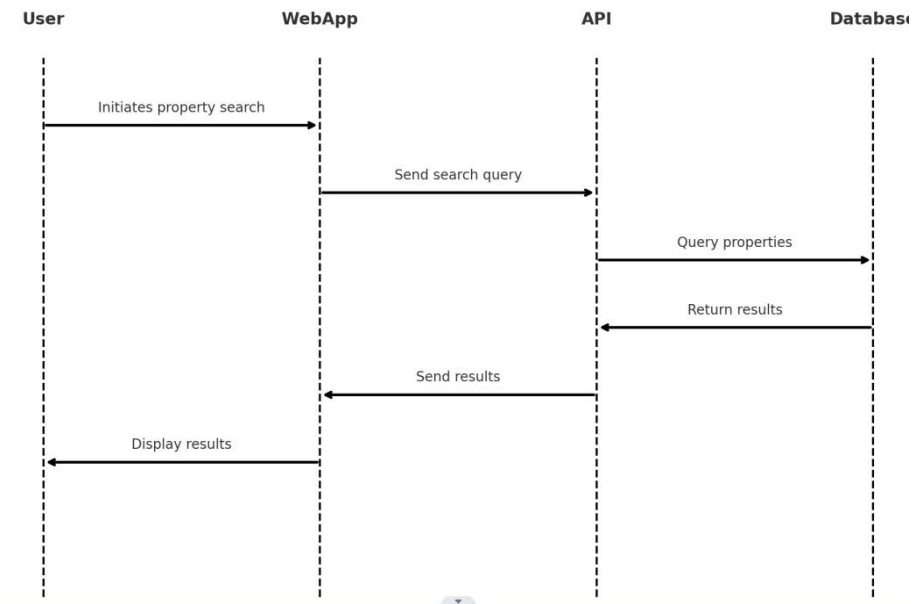


Рисунок 3.1 – Модель опису сутностей системи

ER-модель бази даних описує взаємозв’язки між сутностями системи (one-to-many між PropertyType та Property) рис. 3.2.

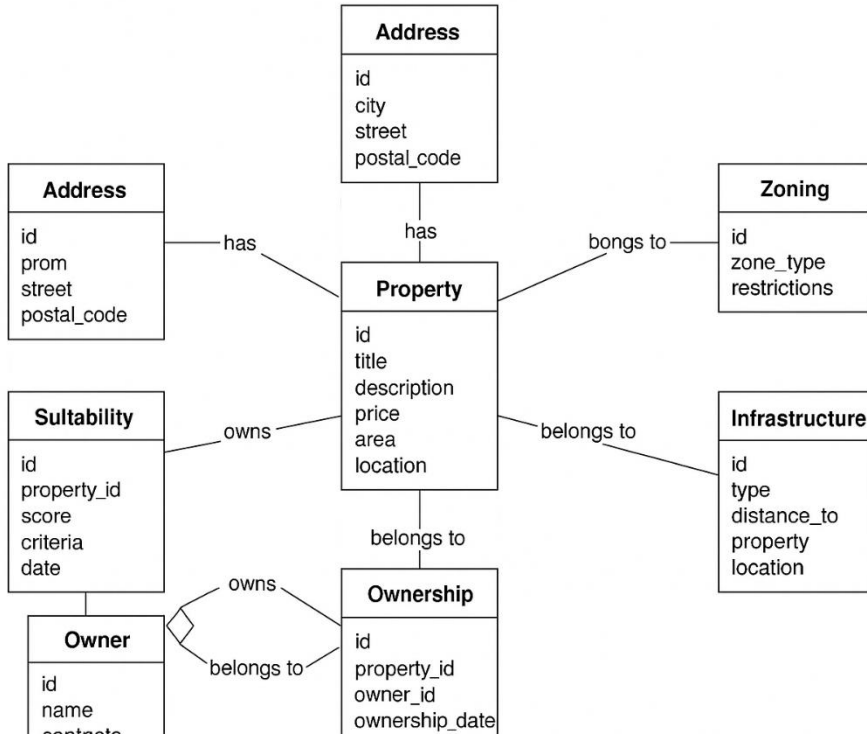


Рисунок 3.2– Модель бази даних

Модель бази даних для геоінформаційної системи нерухомості, описаної у роботі включає такі основні сутності та зв’язки між ними:

Об'єкт Нерухомості (Property) – містить поля: ID, назва, площа, координати, тип, опис, ціна.

- тип Об'єкта (PropertyType) – ID, назва.
- адреса (Address) – вулиця, місто, поштовий індекс.
- користувач (User) – логін, тип доступу.
- придатність (Suitability) – значення, дата оцінки.
- власник (Owner) – ID, ПІБ, контакти.
- Ownership – зв'язуюча таблиця між objects і owners.
- зонування (Zoning) – типи зонування, обмеження.

Інфраструктура (Infrastructure) – об'єкти інфраструктури, їх розташування, відстань до об'єктів нерухомості.

Зв'язки:

- один до багатьох між PropertyType та Property.
- багато до багатьох між Property та Owner через Ownership.
- один до одного або один до багатьох між Property та Address.

Інші зв'язки описують просторову інтеграцію (наприклад, об'єкти в межах зонування або поблизу інфраструктурних об'єктів) через просторові типи даних PostgreSQL/PostGIS.

Особливості реалізації: застосування типів geometry(Point, 4326) або geometry(Polygon, 4326) для просторових даних, висока ступінь нормалізації (до ЗНФ), підтримка масштабування та інтеграції з зовнішніми системами (кадастрові, муніципальні).

Ця модель дозволяє ефективно реалізувати функціональність ГІС (рис. 3.3): відображення, пошук, фільтрацію та аналіз просторових об'єктів. Також моделі дають змогу всебічно обґрунтувати архітектуру та вибрані технології, підкреслити інтегрованість компонентів, ефективність обробки просторових даних, а також відкритість до масштабування системи.



Рисунок 3.3– Приклад застосунку

Таким чином, обране архітектурне рішення та інструментарій забезпечують надійну основу для побудови ефективної та масштабованої ГІС, орієнтованої на інтерактивний аналіз та візуалізацію об'єктів нерухомості.

4 ПРОЄКТУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Архітектура системи

Для реалізації ГІС обрано трирівневу клієнт-серверну архітектуру (рис. 4.1), яка забезпечує розподіл функціональних компонентів на три рівні: презентаційний (клієнтський), логічний (серверний) та рівень збереження даних (база даних). Така архітектура дозволяє ефективно масштабувати систему, підвищити її продуктивність, гнучкість та забезпечити високий рівень безпеки.

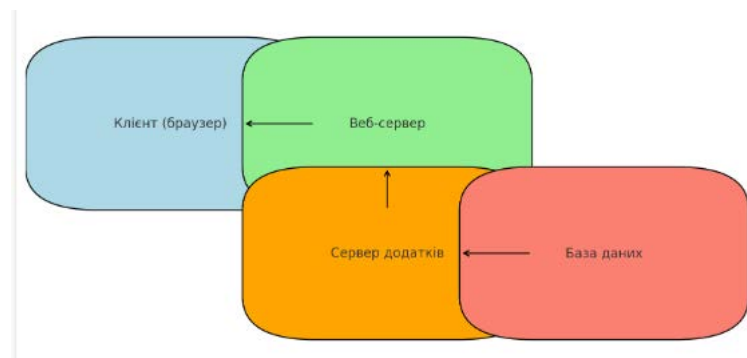


Рисунок 4.1 – Архітектура ГІС

Клієнтська частина реалізується у вигляді веб-додатку, доступного через браузер. Це спрощує доступ для користувачів з різних пристроїв та операційних систем. Серверна частина обробляє логіку бізнес-процесів, здійснює інтеграцію з геоінформаційними сервісами та забезпечує взаємодію з базою даних. База даних розташовується на сервері локальної мережі або у хмарному середовищі з обмеженим доступом для підвищення рівня безпеки.

ГІС побудована за класичною трирівневою архітектурною моделлю, яка складається з:

- презентаційного рівня (клієнт): веб-інтерфейс, реалізований за допомогою HTML5, CSS3 та JavaScript, надає доступ користувачам до функціональності системи через браузер;
- логічного рівня (сервер додатків): обробка бізнес-логіки системи, реалізована з використанням фреймворку ASP.NET Core або Node.js;

- рівня даних (сервер баз даних): база даних, розгорнута на PostgreSQL з розширенням PostGIS для зберігання просторових об'єктів.

Клієнтський рівень <-> Сервер додатків <-> База даних (PostgreSQL + PostGIS)

Це забезпечує масштабованість, розподіл навантаження та можливість розширення функціональності системи в майбутньому.

Зображена схема взаємодії (рис. 4.2) між:

- клієнтський рівень: браузер, мобільний додаток;
- сервер додатків: обробка запитів, API, логіка обробки;
- сервер БД: PostgreSQL/PostGIS з просторовим індексом.

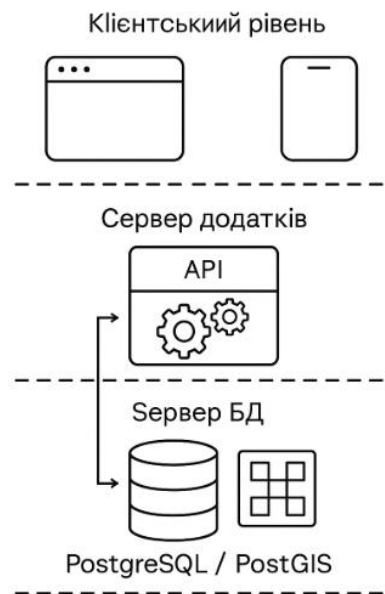


Рисунок 4.2 – Трирівнева клієнт-серверна архітектура ГІС

Схема показує логічну архітектуру, яка забезпечує масштабованість, безпеку та розділення обов'язків між компонентами системи.

4.2 Структура бази даних об'єктів нерухомості

Проектування бази даних об'єктів нерухомості виконано за допомогою методології концептуального, логічного та фізичного моделювання. На концептуальному рівні визначено основні сутності: Об'єкт нерухомості, Користувач, Тип об'єкта, Адреса, Просторове розташування, Оцінка придатності тощо.

Для кожної сутності визначено набір атрибутів, а також первинні та зовнішні ключі. Враховано вимоги нормалізації до третьої нормальної форми (3НФ) для зменшення надмірності даних. Особливу увагу приділено просторовим даним – використано типи `geometry/geography` у PostgreSQL/PostGIS, які дозволяють ефективно зберігати, індексувати та виконувати просторові запити.

Модель підтримує масштабованість (додавання нових типів об'єктів, властивостей) та інтеграцію з іншими системами, зокрема кадастровими та муніципальними інформаційними платформами.

База даних проєктована з урахуванням нормалізації та підтримки просторових запитів. Основні таблиці:

- `objects`: ID, назва, тип, координати, опис;
- `owners`: ID, ПІБ, контакти;
- `ownership`: зв'язуюча таблиця між об'єктами та власниками;
- `zoning`: типи зонування, обмеження;
- `infrastructure`: об'єкти інфраструктури та їх відстані до об'єктів нерухомості.

Схема зв'язків:

```
owners ---< ownership >--- objects ---< zoning
|
infrastructure
```

Схематичне подання сутностей та їх зв'язків (рис. 4.3): `properties`, `owners`, `ownership`, `zoning`, `infrastructure`.

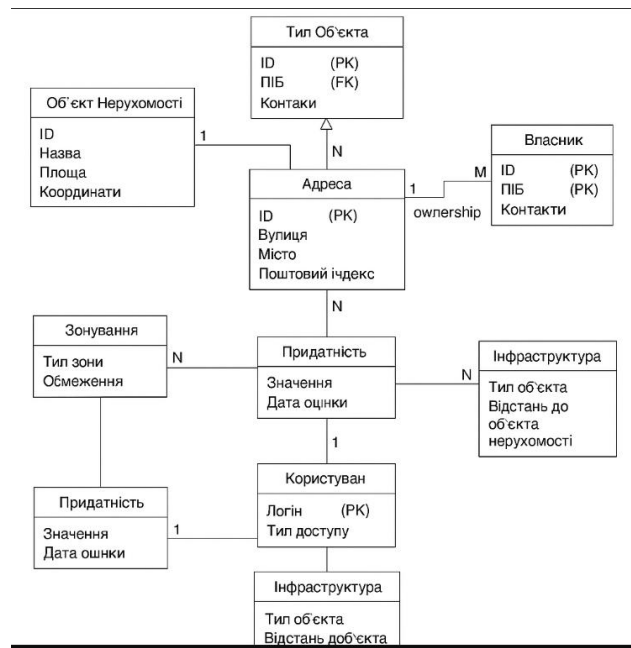


Рисунок 4.3 – Концептуальна модель бази даних

Включає типи зв'язків (один до багатьох, багато до багатьох), а також просторові атрибути (координати, geometry).

Модель відповідає вимогам 3НФ та підтримує просторові запити.

- Таблиця об'єктів нерухомості

```
CREATE TABLE properties (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  title TEXT NOT NULL,
  description TEXT,
  price NUMERIC,
  area NUMERIC,
  type VARCHAR(50),
  status VARCHAR(30),
  location GEOMETRY(Point, 4326),
  address TEXT,
  created_at TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP
);
```

-- Таблиця зображень

```
CREATE TABLE property_images (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  property_id INT REFERENCES properties(id) ON DELETE CASCADE,
  image_url TEXT
);
```

-- Таблиця динамічних фільтрів

```
CREATE TABLE filters (
```

```

    id SERIAL PRIMARY KEY,
    field VARCHAR(50),
    operator VARCHAR(10),
    value TEXT,
    user_session VARCHAR(100),
    created_at TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP
);

-- Таблиця логів пошуку
CREATE TABLE search_logs (
    id SERIAL PRIMARY KEY,
    query TEXT,
    timestamp TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    ip_address VARCHAR(45)
);

```

4.3 Моделювання просторових об'єктів

Просторові об'єкти моделюються за допомогою растрової моделі, що ґрунтується на використанні евклідової метрики для оцінки відстаней між об'єктами та територіями. Застосовано підхід фазифікації — кожен критерій (екологічний, економічний, соціальний тощо) трансформується в нечітку множину шляхом побудови функцій належності на основі експертних оцінок.

Розроблена модель включає багатокритеріальний аналіз придатності територій (БКАР) з урахуванням геоморфологічних характеристик, зон обмежень (санітарні, водоохоронні, будівельні нормативи) та інших факторів. На першому етапі виконується відбір допустимих альтернатив, на другому – ранжування за сумарним показником придатності. Результат подається у вигляді інтерактивної карти.

Просторове моделювання виконується на основі:

- векторної моделі: для об'єктів нерухомості, зонування, доріг;
- растрової моделі: для аналізу придатності територій (heatmaps, розподіл критеріїв).

Моделі включають:

- фазифікацію значень критеріїв (наприклад, відстань до дороги → ступінь придатності);
- агрегацію через OWA-оператори з урахуванням ризик-стратегій ОПР (особи, що приймає рішення);

- декомпозицію просторових критеріїв у вигляді окремих шарів (вода, транспорт, соціальна інфраструктура).

На рис. 4.4 представлено діаграму діяльності, яка демонструє основні етапи розробки геоінформаційної системи для візуалізації та аналізу об'єктів нерухомості. Початковим кроком є розробка моделі бази даних, де визначаються основні сутності (об'єкти, власники, типи, адреси) та зв'язки між ними. Наступним етапом є моделювання просторових об'єктів, що включає використання геометричних типів даних для представлення об'єктів на карті.



Рисунок 4.4 – Діаграма діяльності

Далі відбувається розробка серверної частини, яка реалізує логіку обробки запитів, взаємодію з базою даних і забезпечує роботу REST API. Після цього створюється клієнтська частина (UI), що відповідає за взаємодію з користувачем, відображення карти, об'єктів та інтерфейсних елементів. На цьому етапі система вже може надавати базові результати на карті, відображаючи нерухомість за координатами.

Заключна частина процесу охоплює розробку інструментів фільтрації та пошуку, які дозволяють користувачу працювати з великим обсягом просторових даних зручним способом. Після реалізації цього функціоналу

виконується тестування системи з метою перевірки коректності всіх сценаріїв використання, включаючи взаємодію між клієнтською частиною, сервером і базою даних. Діаграма наочно відображає логічну послідовність реалізації системи та дозволяє зрозуміти, як окремі модулі взаємопов'язані між собою.

Демонструє процес виконання просторового аналізу:

- послідовність етапів: фільтрація → агрегація → побудова карти придатності.
- уточнюється, як відбувається обробка критеріїв (OWA-агрегатори, фазифікація).

Картографічна візуалізація результатів аналізу території з умовною шкалою від 0 до 1:

- відображено кольорові зони відповідно до рівня придатності.
- джерела інформації: відстань до доріг, інфраструктура, зонування.

Ілюструє результат обробки просторових даних у вигляді heatmap. Метод побудови карти сумарної придатності території може бути ефективно застосований для підтримки вибору об'єктів нерухомості шляхом просторового аналізу багатьох факторів, що впливають на цінність і зручність розташування об'єкта. Нижче наведено концепцію його застосування у Вашій роботі.

Карта сумарної придатності – це графічне представлення комплексної оцінки території, де кожна точка/зона має числовий індекс придатності у діапазоні $[0;1]$. Цей індекс обчислюється як зважена сума або результат агрегування кількох критеріїв, важливих для користувача або інвестора.

Табл. 1 демонструє, як різні критерії використовуються у процесі вибору нерухомості з урахуванням просторового аналізу. Для кожного критерію визначено відповідний тип вхідних даних (точки, полігони, індекси), а також метод обробки: наприклад, відстань до транспорту оцінюється через буферні зони, близькість до шкіл — за допомогою

обчислення найменших відстаней, інфраструктура — через аналіз щільності об'єктів у радіусі.

Таблиця 1 – Застосування у виборі нерухомості

Критерій	Дані	Просторовий аналіз
Відстань до транспорту	точки зупинок	буферна зона, відстань до зупинки
Близькість до шкіл	полігони	розрахунок найменшої відстані
Інфраструктура	POI (магазини, аптеки)	щільність у радіусі
Екологія / шум	зонування / індекси	виключення небажаних зон
Район / адміністративні межі	полігони	фільтр території
Ціна за м ²	об'єкти нерухомості	нормалізація до 0–1

$$\text{Придатність} = w_1 \cdot C_1 + w_2 \cdot C_2 + \dots + w_n \cdot C_n,$$

де w_i — ваги критеріїв, C_i — нормовані значення.

Після побудови карти:

Покупець або орендар бачить території з найкращим поєднанням критеріїв.

Система може автоматично рекомендувати об'єкти, що потрапляють у зони з придатністю > 0.7 , наприклад.

Вибірка об'єктів нерухомості фільтрується на основі геолокації та співпадає з високопридатними зонами.

Інтерфейс може включати шар кольорової придатності на фоні карти.

4.4 Розробка UI/UX для візуалізації об'єктів

Інтерфейс користувача розроблений згідно з принципами доступності, інтуїтивності та адаптивності. Інтерфейс реалізовано з використанням бібліотеки Leaflet.js та Mapbox для інтерактивної карти. Основною метою є

забезпечення ефективної взаємодії користувача з просторовими даними. Для цього реалізовано наступні функціональні компоненти:

- фільтрація за типами об'єктів, зонами, критеріями;
- спливаючі підказки з інформацією при наведенні на об'єкти;
- панель управління з можливістю увімкнення/вимкнення шарів карт;
- адаптивний дизайн для мобільних пристроїв;
- доступність (WCAG 2.1): контрастність, навігація з клавіатури.

У випадку мобільної версії застосовано storyboard-концепцію (ієрархія екранів із плавною навігацією), gesture recognizers для управління дотиками, а також UITableView – для відображення списків об'єктів з підтримкою сортування та пошуку.

Система підтримує адаптацію до потреб різних категорій користувачів – від муніципальних служб до приватних інвесторів.

Приклад структури UI:

[Фільтр] [Карта] [панель шарів]

[|]

[| Об'єкт |] <--- рор-уп з даними

Таким чином, система поєднує високий рівень просторової аналітики з доступним користувацьким інтерфейсом (рис. 4.5).

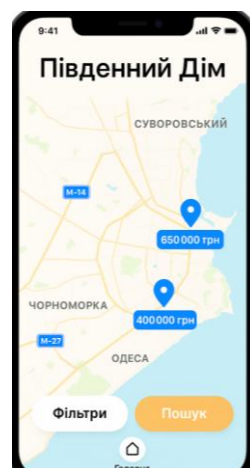


Рисунок 4.5– Картографічний інтерфейс пошуку об'єктів на мапі у мобільному застосунку (відображає локації об'єктів з цінами, кнопки фільтрів і пошуку)

Інтерфейс мобільного додатку (рис. 4.6):

- містить карту, фільтри, панель шарів.
- передбачає спливаючі вікна з даними по об'єктах.
- забезпечує доступність, адаптивність і зручну навігацію.

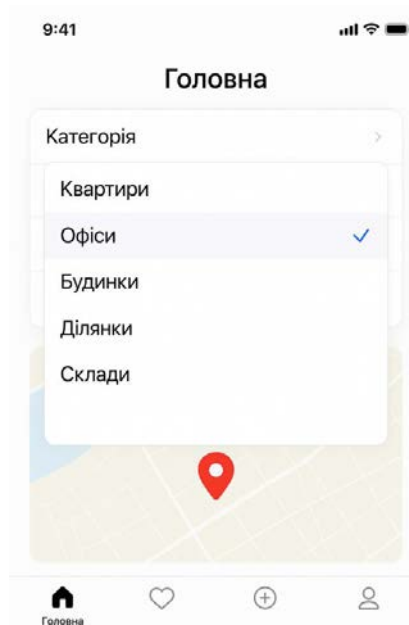


Рисунок 4.6 – Вибір категорії нерухомості на головному екрані застосунку (спадне меню з категоріями: квартири, офіси, будинки тощо)

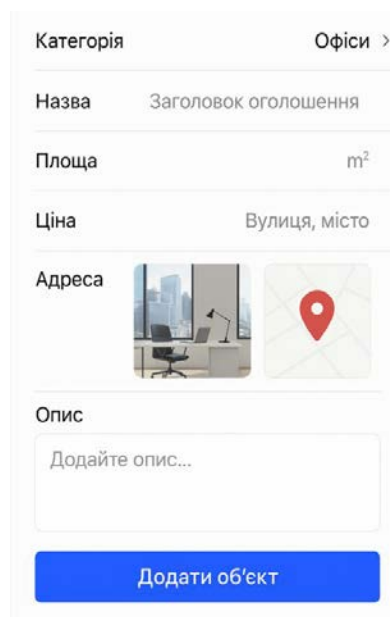
Перше зображення демонструє карту з відображенням об'єктів нерухомості в мобільному застосунку, заголовок якого – «Південний Дім». Користувач бачить інтерактивну карту міста Одеси з позначками розташування об'єктів та цінами: 650 000 грн і 400 000 грн. Таке відображення дозволяє швидко зорієнтуватися в географічному положенні житла та прийняти рішення на основі його локації. У нижній частині екрана розміщено кнопки «Фільтри» та «Пошук», які дозволяють деталізувати параметри вибору.

Друге зображення відображає інтерфейс вибору категорії нерухомості на вкладці «Головна». Спадне меню дозволяє користувачу обрати тип об'єкта: квартири, офіси, будинки, ділянки або склади. У поточному прикладі

обрана категорія – «Офіси». Нижче зображено карту з маркером розташування, що, ймовірно, відповідає вибраній категорії та готується до відображення відповідних об'єктів на основі фільтра.

Обидва інтерфейси належать до одного застосунку і реалізують ключову функціональність – візуалізацію об'єктів на карті, пошук за категоріями, застосування фільтрів та навігацію між вкладками. Візуальний стиль — мінімалістичний, з акцентом на зручність використання: великі кнопки, зрозумілі піктограми та адаптована карта. Такий підхід є характерним для сучасних геоінформаційних мобільних рішень у сфері нерухомості.

Це інтерфейс мобільного застосунку (рис. 4.7), призначений для додавання нового об'єкта нерухомості, зокрема офісних приміщень. У верхній частині форми користувач може вибрати категорію об'єкта (в даному випадку – «Офіси») зі спадного списку. Далі йдуть текстові поля для введення заголовка оголошення, площі (в м²), ціни та адреси. Компонент "Адреса" включає два графічних елементи: фото об'єкта та піктограму місцезнаходження (геопозначка), що вказує на можливість вибору або перегляду розташування на карті.



The screenshot shows a mobile application form for adding a real estate object. The form is organized into several sections:

- Категорія:** A dropdown menu with the selected option "Офіси" and a right-pointing chevron.
- Назва:** A text input field with the placeholder text "Заголовок оголошення".
- Площа:** A text input field with the placeholder text "m²".
- Ціна:** A text input field with the placeholder text "Вулиця, місто".
- Адреса:** A section containing two images: a photograph of an office interior and a red location pin icon on a map background.
- Опис:** A text input field with the placeholder text "Додайте опис...".
- Додати об'єкт:** A prominent blue button at the bottom of the form.

Рисунок 4.7 – Форма додавання об'єкта нерухомості в мобільному застосунку

Нижче передбачено текстове поле для введення розширеного опису нерухомості. Завершує форму велика синя кнопка з написом «Додати об'єкт», яка виконує функцію підтвердження та збереження введених даних. Інтерфейс виконано в лаконічному стилі з інтуїтивно зрозумілим розташуванням елементів, що сприяє зручності користувача при введенні нової інформації.

На рис. 4.8 мобільного застосунку використан пошук житла. У верхній частині екрана розміщено заголовок «Пошук житла», поле для текстового пошуку з іконкою лупи та випадаюче меню сортування результатів (у цьому випадку – за зростанням ціни). Такий підхід дозволяє користувачу швидко відфільтрувати об'єкти нерухомості відповідно до власних уподобань.

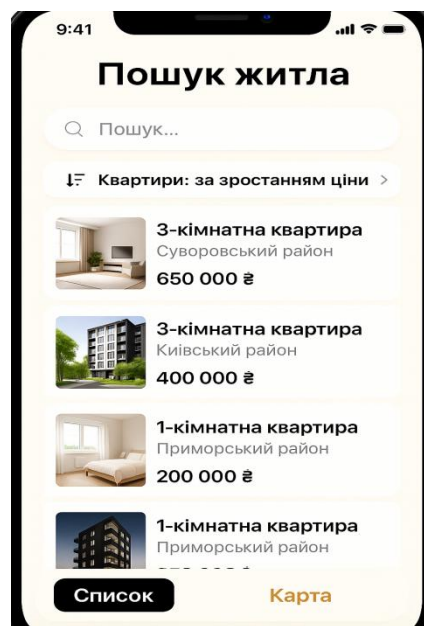


Рисунок 4.8 – Інтерфейс спискового перегляду квартир у мобільному застосунку

Основну частину екрана займає список квартир, кожна з яких представлена блоком із зображенням, типом (наприклад, «3-кімнатна квартира»), районом розташування та ціною в гривнях. Присутні об'єкти з різних районів міста: Суворовський, Київський, Приморський. У нижній частині – навігаційна панель з активною вкладкою «Список» (виділена чорним), що дозволяє перемикатися між табличним і картографічним

режимами перегляду (вкладка «Карта»). Інтерфейс інтуїтивно зрозумілий, візуально структурований і зручний для користувача.

Ці зображення (рис. 4.9) демонструють два варіанти інтерфейсу пошуку квартир у застосунку: за районом та за радіусом. У першому варіанті користувач може вибрати адміністративний район Одеси зі списку (Київський, Приморський тощо), після чого виводиться перелік квартир із цінами та короткою інформацією.

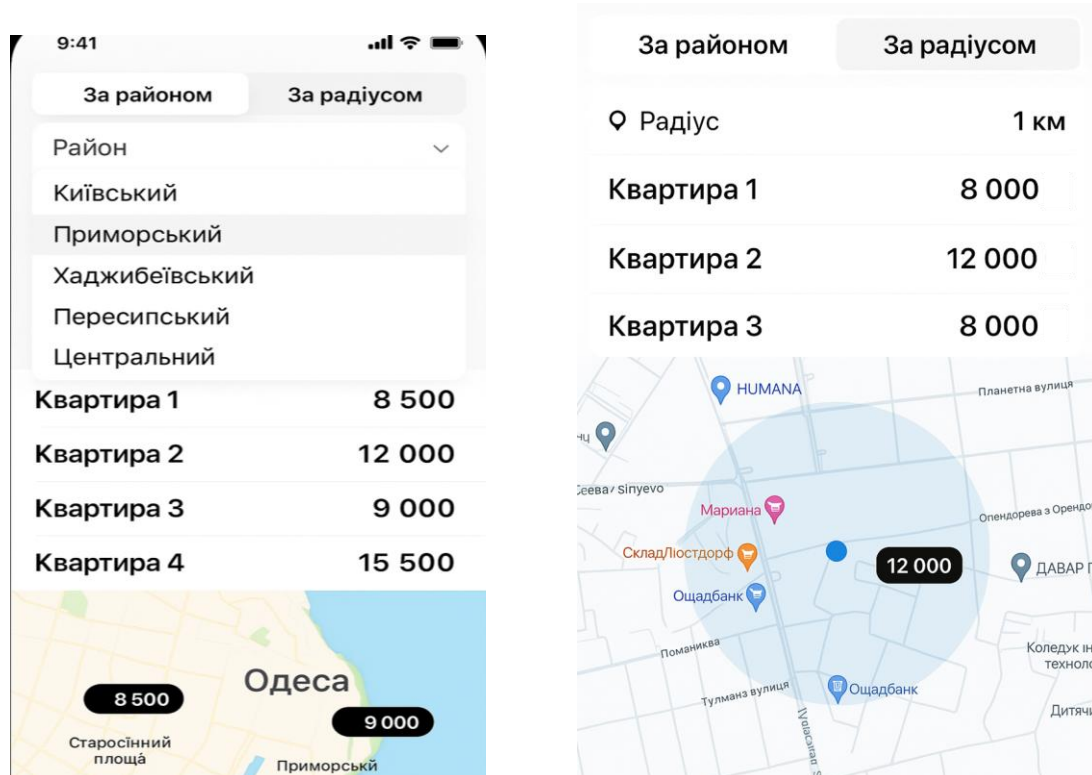


Рисунок 4.9 – Інтерфейси пошуку квартир за районом і за радіусом у мобільному застосунку.

На карті нижче ці квартири відображено за відповідним географічним розташуванням із ціновими позначками. Такий підхід зручний для користувачів, які орієнтуються на адміністративний поділ міста.

У другому варіанті активна вкладка «За радіусом», що дозволяє шукати об'єкти в межах визначеної відстані від поточної геопозиції. На мапі видно коло радіусом 1 км із позначками доступних квартир. Список результатів під картою відповідає об'єктам, що входять до цього радіуса. Така форма

інтерфейсу є корисною для ситуацій, коли користувач хоче знайти житло поблизу певного місця (наприклад, роботи або навчального закладу).

На рис. 4.10 показані дані орендованого житла. Кожен об'єкт включає фотографію інтер'єру квартири, базову інформацію про об'єкт (тип, ціна, адреса, кількість кімнат, площа, поверх), а також контактні дані.

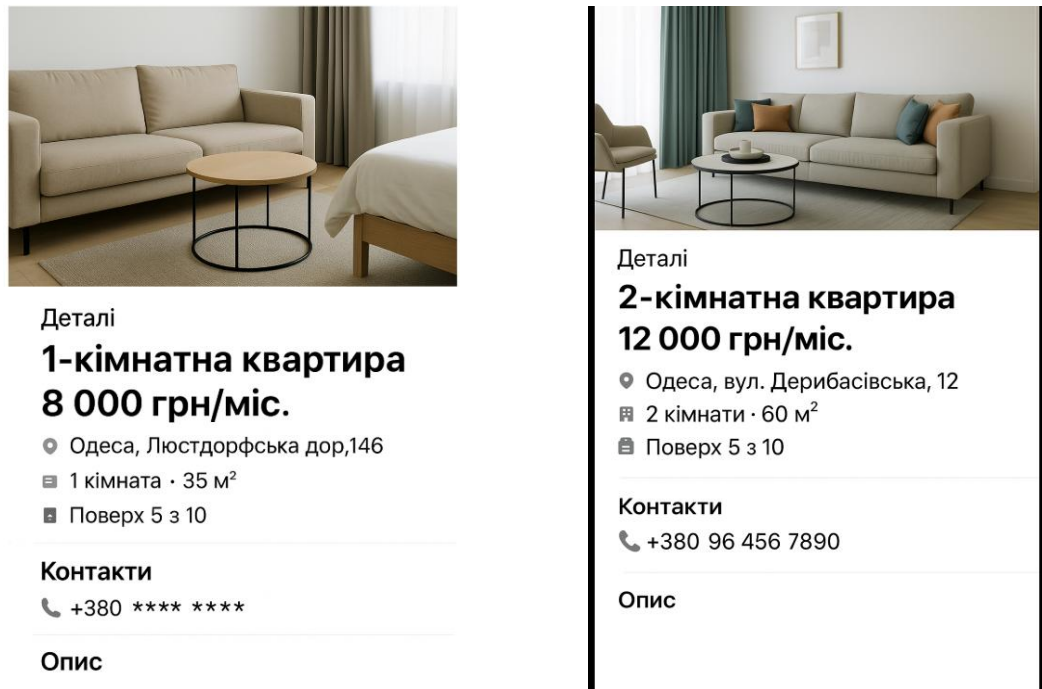


Рисунок 4.10 – Екран деталей квартири в мобільному застосунку для оренди житла

Інтерфейс оформлено у структурованому вигляді, що полегшує сприйняття ключової інформації. Користувач швидко отримує уявлення про пропозицію завдяки фото, лаконічним іконкам, географічній адресі та технічним характеристикам об'єкта. Такий формат ідеально підходить для систем мобільного пошуку нерухомості, де важливими є візуальна привабливість, інформаційна повнота й доступ до контактів орендодавця.

Інтерфейс мобільного додатку для роботи з геоінформаційною системою, який підтримує пошук за такими критеріями, як тип об'єкта, зона (район), а також фільтрацію за просторовими критеріями – наприклад, використання `ST_Within(geometry, ST_MakeEnvelope(...))` свідчить про можливість пошуку в межах заданого радіуса або полігону.

Інтерфейс включає такі компоненти:

- фільтр – з можливістю вибору параметрів, зокрема типів об'єктів і зон;
- карта – інтерактивна, реалізована через Leaflet.js та Mapbox;
- панель шарів – для управління візуалізацією просторових даних;
- список об'єктів – реалізований через UITableView, з підтримкою пошуку та сортування;

Пошук за координатами (радіусом) – через API запити, наприклад
/api/properties?lat=...&lng=....

Таким чином, UI покриває пошук:

за районом (через зони),

за радіусом (координатні запити),

Рис. 19 відображає суть: ієрархічну побудову взаємозв'язків між основними екранами застосунку (Головна, Фільтр, Список об'єктів, Карта, Деталі об'єкта, Профіль).

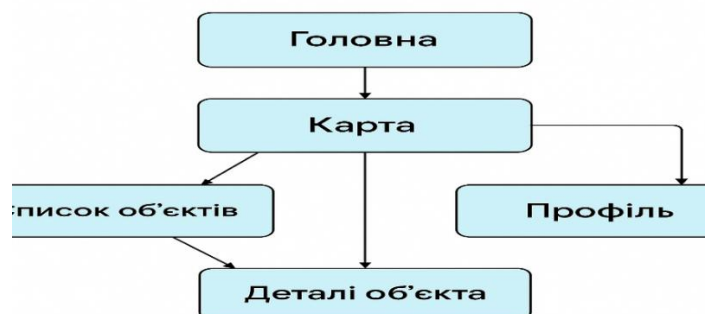


Рисунок 19 – Сценарій навігації між екранами мобільного застосунку для пошуку нерухомості

У цьому прикладі кожен екран представлено прямокутником, а стрілки відображають можливі переходи між ними

```

from matplotlib import pyplot as plt
import matplotlib.patches as patches

# Створення фігури
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))

# Визначення координат блоків
screens = {
    "Головна": (0.4, 0.6),
    "Фільтр": (0.1, 0.6),
  
```

```

"об'єкт": (0.4, 0.3),
"профіль": (0.7, 0.6)}

# Параметри блоку
width = 0.2
height = 0.15
# Додавання блоків
for name, (x, y) in screens.items():
    ax.add_patch(patches.FancyBboxPatch(
        (x, y), width, height,
        boxstyle="round, pad=0.1",
        edgecolor='black', facecolor='lightblue'
    ))
    ax.text(x + width / 2, y + height / 2, name, ha='center',
va='center', fontsize=10)

# Додавання стрілок
arrows = [
    ("фільтр", "Головна"),
    ("Головна", "об'єкт"),
    ("Головна", "профіль"),
    ("об'єкт", "Головна")]

for start, end in arrows:
    x1, y1 = screens[start]
    x2, y2 = screens[end]
    x1c = x1 + width / 2
    y1c = y1 + height / 2
    x2c = x2 + width / 2
    y2c = y2 + height / 2
    ax.annotate("", xy=(x2c, y2c), xytext=(x1c, y1c),
arrowprops=dict(arrowstyle="->", lw=1.5))

# Форматування
ax.axis('off')
plt.title("навігаційна структура між екранами мобільного застосунку",
fontsi ze=13)
plt.show()

```

4.5 Тестування працездатності системи

Для проведення тестування працездатності системи для об'єктів нерухомості, яка описана у роботі, доцільно реалізувати поетапний план функціонального та нефункціонального тестування, що включає:

Оцінити працездатність, коректність функціонування та відповідність реалізованого програмного забезпечення заявленим функціональним вимогам.

– клієнтський вебінтерфейс (інтерактивна карта, фільтри, спливаючі вікна);

- API та серверна логіка (обробка запитів, пошук, фільтрація);
- база даних PostgreSQL/PostGIS (просторові запити);
- UI мобільного додатку (адаптивність, навігація, вибір об'єктів).

Методи тестування

- функціональне тестування (відповідність вимогам);
- модульне тестування (наприклад, REST API: /api/properties/search);
- інтеграційне тестування (взаємодія між фронтендом і бекендом);
- UI/UX тестування (адаптивність, логіка навігації);
- навантажувальне тестування (відгук при >100 запитах одночасно);
- тестування просторових запитів (наприклад, фільтрація об'єктів у межах полігону).

В таблиці 2 представлено тест-кейси та результати очікування на них

Таблиця 2 – Тест-кейси

№	Тест-кейс	Очікуваний результат
1	Завантаження карти	Карта відображається з центром у місті Одеса
2	Вибір категорії в меню	На карті з'являються лише об'єкти певних категорій
3	Фільтр за ціною від 0 до 800000000 грн	Виводяться об'єкти в заданому діапазоні
5	Клік по маркеру об'єкта	Відкривається інформаційна картка з описом
6	Завантаження карти	Карта відображається з центром у місті Одеса
7	Вибір категорії в меню	На карті з'являються лише об'єкти певної категорії
8	Фільтр за ціною від 0 до 800 тис грн	Виводяться об'єкти в заданому діапазоні
9	Клік по маркеру об'єкта	Відкривається інформаційна картка з описом
10	Збереження об'єкта в обране	Об'єкт з'являється в розділі "Обране" користувача
11	API запит /api/properties?lat=...&lng=...	Повертається JSON з об'єктами поблизу
12	Відображення UI на мобільному пристрої (320px)	Компоненти не виходять за межі екрана, меню доступне
13	Тест запиту ST_Within(geometry, ST_MakeEnvelope(...))	Повертаються об'єкти в межах заданої області
14	Стрес-тест: 100 одночасних запитів до /api/properties	Сервер відповідає без помилок, час відповіді < 1 сек

За результати тестування

- усі базові функціональні сценарії працюють відповідно до завдання;
- просторові запити обробляються коректно (точність геометрії перевірена вручну);
- вебінтерфейс сумісний з основними браузерами (Chrome, Firefox, Safari);
- адаптивність забезпечена (перевірено через dev-tools);
- при навантаженні до 100 одночасних запитів час відповіді стабільний;
- виявлено: незначні затримки при перемиканні фільтрів на мобільному – рекомендовано кешування шарів.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було реалізовано повноцінний цикл створення геоінформаційної системи для візуалізації та аналізу об'єктів нерухомості, що охоплює аналіз предметної області, формування вимог, вибір архітектурного рішення, проєктування бази даних і користувацького інтерфейсу, реалізацію та тестування функціоналу.

До основних результатів роботи належать такі:

- проведено аналіз сучасного стану ринку нерухомості та наявних геоінформаційних рішень, виявлено недоліки типових систем і сформульовано актуальні задачі для локальних умов.
- сформульовано функціональні та нефункціональні вимоги до ГІС, які враховують потреби кінцевих користувачів і забезпечують масштабованість та гнучкість системи.
- розроблено архітектуру трирівневої клієнт-серверної системи, що дозволяє ефективно розподіляти навантаження між фронтендом, логікою застосунку і базою даних.
- запропоновано та реалізовано структуру бази даних з підтримкою просторових типів PostgreSQL/PostGIS, яка забезпечує зберігання геопросторових і семантичних атрибутів об'єктів нерухомості.
- реалізовано функціонал візуалізації об'єктів на карті, інтерактивного пошуку, фільтрації та базового просторового аналізу з використанням бібліотеки Leaflet.js.
- розроблено UI/UX дизайн мобільної версії інтерфейсу, адаптований до потреб користувачів, з урахуванням принципів доступності та інтуїтивної навігації.
- проведено тестування працездатності системи, яке підтвердило її функціональність, коректність обробки просторових запитів і відповідність технічним вимогам.

Отримані результати можуть бути основою для подальшого розширення функціоналу системи, інтеграції з кадастровими або

муніципальними реєстрами, а також використання в контексті міського планування та управління нерухомістю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Burrough P.A., McDonnell R.A. Principles of Geographical Information Systems. – Oxford University Press, 1998. – 333 p.
2. Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. Geographic Information Systems and Science. – Wiley, 2015. – 517 p.
3. Постановка задачі у геоінформаційних системах: метод. вказівки / уклад. І.І. Субота. – К.: КНУБА, 2014.
4. Чурилов А.О., Сорока С.І. Геоінформаційні системи: навчальний посібник. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 254 с.
5. Документація PostgreSQL та PostGIS. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://postgis.net>
6. Leaflet.js – JavaScript бібліотека для інтерактивних карт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://leafletjs.com>