

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Острозька академія»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та бізнесу
Кафедра інформаційних технологій та аналітики даних

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
на тему: «Проектування та розробка інтерактивної карти основного корпусу
Національного університету "Острозька академія"»

Виконав: студент 4 курсу, групи КН-41
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
освітньо-професійної програми «Комп'ютерні науки»
Бондар Анастасія Олегівна

Керівник: викладач, фахівець-практик,
Володимир МІСАЙ

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної математики
Донецького національного університету імені Василя Стуса,
Загоруйко Любов Василівна

РОБОТА ДОПУЩЕНА ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри інформаційних технологій та аналітики даних

_____ (проф., д.е.н. Кривицька О.Р.)

Протокол № 11 від « 20 » травня 2026 р.

Острог, 2026

Зміст

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	10
1.1 Опис предметного середовища.....	10
1.2 Огляд наявних аналогів.....	13
1.3 Постановка задачі.....	17
Висновок до розділу.....	20
РОЗДІЛ 2 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	23
2.1 Аналіз предметної області (вхідні та вихідні дані).....	23
2.2 Проектування системи.....	29
2.3 Математичне та алгоритмічне забезпечення.....	31
Висновки до розділу.....	35
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	36
3.1 Засоби розробки.....	36
3.2 Вимоги до технічного та програмного забезпечення.....	41
3.3 Опис програмної реалізації.....	42
3.3.1 Функціональні можливості веб-додатка.....	42
3.3.2 Реалізація тривимірної сцени.....	44
3.3.3 Система навігації та перемикання поверхів.....	46
3.3.4 Реалізація бокової інформаційної панелі (Sidebar).....	48
3.3.5 Система пошуку, підсвічування та маршрутизації об'єктів.....	49
3.3.6 Реалізація мультимовності.....	50
3.3.7 Адаптивна верстка та мобільна оптимізація.....	50
3.4 Керівництво користувача.....	52
Висновки до розділу.....	53
ВИСНОВОК.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

АНОТАЦІЯ
кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Тема: *Проектування та розробка інтерактивної карти основного корпусу Національного університету «Острозька академія»*

Автор: *студентка спеціальності 122 Комп'ютерні науки освітньо-професійної програми «Комп'ютерні науки»
Бондар Анастасія Олегівна*

Науковий керівник: *викладач, фахівець-практик
Володимир Віталійович Місай*

Захищена «.....»..... 20__ року.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: *58 (кількість сторінок роботи) с., 8 (кількість рисунків) рис., 0 (кількість таблиць) табл., 0 (кількість додатків) додатків, 17(кількість джерел) джерел.*

Ключові слова: *ІНТЕРАКТИВНА КАРТА, ВЕБДОДАТОК, 3D-МОДЕЛЬ, REACT, THREE.JS, WEBGL, НАВІГАЦІЯ, ПОШУК АУДИТОРІЙ, МУЛЬТИМОВНІСТЬ, АДАПТИВНИЙ ІНТЕРФЕЙС.*

Короткий зміст праці: *Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню та розробці інтерактивної 3D-карти основного корпусу Національного університету «Острозька академія». Метою роботи є створення сучасного вебдодатка для навігації у межах навчального корпусу з можливістю інтерактивної взаємодії з тривимірною моделлю будівлі.*

У процесі дослідження було проаналізовано існуючі системи цифрової навігації та 3D-візуалізації, визначено їх переваги та недоліки, а також обґрунтовано

доцільність створення спеціалізованого рішення для освітнього середовища. Практична реалізація виконана із використанням технологій React, Three.js та WebGL.

Розроблений веб-додаток забезпечує перегляд тривимірної моделі корпусу, навігацію між поверхами, пошук аудиторій, відображення інформації про приміщення, підтримку мультимовності та адаптивний інтерфейс для мобільних пристроїв. Реалізовано систему інтерактивної взаємодії з об'єктами сцени та бокову інформаційну панель для покращення зручності користування системою.

У результаті виконання роботи створено функціональний програмний продукт, який може бути використаний студентами, викладачами, абітурієнтами та гостями університету для швидкої та зручної навігації у межах корпусу навчального закладу.

ABSTRACT
of the qualification work for a Bachelor's degree

Theme: *Design and development of an interactive map of the main building of the National University of Ostroh Academy*

Author: *student of speciality 122 Computer Science
educational and professional programme “Computer Science”
Anastasiia Olehivna Bondar*

Supervisor: *Lecturer, Practising Specialist
Volodymyr Vitaliyovych Misai*

Defended on «.....»..... **20__.**

Explanatory note to the qualification work: *58 (number of pages) pp., 8 (number of figures) figs., 0 (number of tables) tables, 0 (number of appendices) appendices, 17 (number of sources) sources.*

Keywords: *INTERACTIVE MAP, WEB APPLICATION, 3D MODEL, REACT, THREE.JS, WEBGL, NAVIGATION, CLASSROOM SEARCH, MULTILINGUAL SUPPORT, ADAPTIVE INTERFACE.*

Abstract: *The qualification work is devoted to the design and development of an interactive 3D map of the main building of the National University “Ostroh Academy”. The aim of the work is to create a modern web application for navigation within the university building with the possibility of interactive interaction with a three-dimensional model of the structure.*

In the course of the research, existing digital navigation systems and 3D visualization solutions were analyzed, their advantages and disadvantages were identified, and the feasibility of developing a specialized solution for the educational environment was

substantiated. The practical implementation was carried out using React, Three.js, and WebGL technologies.

The developed web application provides visualization of the building's 3D model, floor navigation, classroom search, display of room information, multilingual support, and an adaptive interface for mobile devices. An interactive object interaction system and a sidebar information panel were implemented to improve usability.

As a result of the work, a functional software product was created that can be used by students, lecturers, applicants, and university guests for fast and convenient navigation within the educational building.

ВСТУП

У сучасних умовах цифровізації освітнього середовища важливого значення набуває створення інтерактивних інформаційних систем, які забезпечують швидкий доступ до інформації та покращують орієнтацію користувачів у просторі навчальних закладів. Великі університетські корпуси часто мають складну структуру приміщень, що створює труднощі для студентів, викладачів, абітурієнтів та гостей університету під час пошуку необхідних аудиторій, кафедр або адміністративних кабінетів. Традиційні способи навігації у вигляді друкованих схем або статичних планів будівлі є недостатньо інформативними та не забезпечують зручної взаємодії з користувачем.

Одним із сучасних підходів до вирішення даної проблеми є використання веб-технологій тривимірної візуалізації. Інтерактивні 3D-карти дозволяють не лише відображати структуру будівлі, але й забезпечують можливість взаємодії з об'єктами сцени, пошуку приміщень, перегляду додаткової інформації та навігації між поверхами. Використання технологій WebGL та сучасних JavaScript-бібліотек відкриває можливість створення продуктивних веб-додатків, що працюють безпосередньо у браузері без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення.

Актуальність теми полягає у необхідності створення сучасного інтерактивного засобу навігації для основного корпусу Національного університету «Острозька академія». Розробка такого веб-додатка дозволяє спростити процес орієнтації користувачів у приміщеннях університету, забезпечити швидкий пошук аудиторій та покращити доступність інформації про навчальні й адміністративні приміщення. Крім того, використання тривимірної графіки забезпечує більш наочне представлення простору порівняно зі звичайними двовимірними схемами.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є створення інтерактивного веб-додатка у вигляді 3D-карти основного корпусу Національного університету «Острозька академія», який забезпечує зручну навігацію між приміщеннями, пошук аудиторій та інтерактивну взаємодію користувача з тривимірною моделлю будівлі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

- Провести аналіз предметної області.

Дана задача передбачає дослідження сучасних вебтехнологій для побудови інтерактивних систем, вивчення можливостей використання WebGL для відображення тривимірної графіки у браузері, аналіз існуючих рішень для цифрової навігації у будівлях та навчальних закладах, а також чітке визначення функціональних та нефункціональних вимог до системи.

- Виконати проектування вебдодатка.

Задача включає розробку структури клієнтської частини додатка, проектування компонентної архітектури React, організацію логіки взаємодії між інтерфейсом користувача та 3D-сценою, а також розробку структури інформаційної панелі, системи пошуку та механізмів поповерхової навігації.

- Обрати інструментальні засоби та реалізувати програмний продукт.

Для цього необхідно застосувати бібліотеку React для побудови інтерфейсу користувача, технології Three.js та @react-three/fiber для реалізації інтерактивної 3D-сцени, розробити алгоритми пошуку та підсвічування аудиторій, впровадити підтримку мультимовності за допомогою i18next та провести оптимізацію загальної продуктивності вебдодатка.

- Провести тестування та оцінку роботи розробленого вебдодатка.

Задача передбачає перевірку коректності роботи навігації між поверхами, тестування інтерактивної взаємодії користувача з 3D-моделлю, перевірку стабільності функціонування пошукової системи та інформаційної панелі, а також комплексний аналіз стабільності й продуктивності додатка у середовищі браузера.

Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є інтерактивна інформаційна система навігації для основного корпусу Національного університету «Острозька академія», реалізована у вигляді веб-додатка з використанням тривимірної графіки.

Предметом дослідження є методи, технології та програмні засоби розробки інтерактивних веб-додатків із використанням WebGL, Three.js, React та інструментів тривимірної візуалізації для реалізації систем навігації у приміщеннях.

Методи дослідження

Для досягнення поставленої мети у роботі були використані методи аналізу предметної області, методи проєктування веб-додатків, технології тривимірної візуалізації та компонентного підходу до розробки користувацьких інтерфейсів. У процесі реалізації застосовано технології React, Three.js, WebGL та сучасні методи організації взаємодії між елементами веб-інтерфейсу й тривимірної сцени. Для перевірки працездатності системи використовувалися методи функціонального тестування та аналізу продуктивності веб-додатка.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Опис предметного середовища

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій цифровізація освітнього середовища є одним із пріоритетних напрямів розвитку закладів вищої освіти. Університети активно впроваджують сучасні вебтехнології для автоматизації навчального процесу, покращення комунікації між учасниками освітнього середовища та забезпечення швидкого доступу до інформації. Одним із важливих аспектів цифровізації є створення систем навігації та інтерактивної візуалізації навчальних приміщень, які дозволяють користувачам швидко орієнтуватися у просторі великих університетських корпусів.

Сучасні навчальні корпуси мають складну архітектурну структуру та включають значну кількість аудиторій, кафедр, адміністративних кабінетів, лабораторій, конференц-залів і допоміжних приміщень. Через це користувачі часто стикаються з труднощами під час пошуку потрібного приміщення, особливо якщо вони вперше перебувають у будівлі. Найбільше це стосується абітурієнтів, гостей університету та студентів молодших курсів, які ще недостатньо знайомі зі структурою навчального закладу.

Предметним середовищем даної роботи є основний корпус Національного університету «Острозька академія». Будівля має багаторівневу структуру та велику кількість приміщень різного призначення, що створює потребу у зручному та сучасному засобі навігації. На сьогодні орієнтація у корпусі переважно здійснюється за допомогою друкованих схем, інформаційних стендів або усних пояснень працівників університету та студентів. Подібні методи навігації мають низку недоліків, оскільки не забезпечують інтерактивності, не дозволяють швидко знайти аудиторію та не надають користувачу можливості детально ознайомитися зі структурою будівлі.

У зв'язку з цим виникає необхідність створення інтерактивної цифрової системи, яка дозволить користувачам переглядати структуру корпусу у

тривимірному форматі, швидко знаходити потрібні приміщення та взаємодіяти з об'єктами сцени через веббраузер. Використання сучасних технологій тривимірної графіки забезпечує більш наочне та зрозуміле представлення простору порівняно зі звичайними двовимірними схемами.

Під час аналізу предметного середовища було визначено основні категорії користувачів системи. До них належать студенти, викладачі, абітурієнти, працівники університету та гості навчального закладу. Кожна з цих категорій має власні потреби у процесі навігації. Для абітурієнтів важливо швидко адаптуватися до нового середовища під час вступної кампанії. Студенти та викладачі потребують оперативного пошуку аудиторій відповідно до розкладу занять. Гості університету та представники делегацій зацікавлені у можливості самостійного ознайомлення зі структурою будівлі без необхідності звернення за допомогою до інших осіб.

Аналіз потреб користувачів показав, що основною проблемою є недостатній рівень зручності існуючих засобів навігації. Статичні плани поверхів та друківані схеми не дозволяють швидко знаходити приміщення, особливо у випадку складної структури будівлі. Крім того, традиційні схеми не підтримують інтерактивної взаємодії та не забезпечують достатнього рівня візуалізації внутрішнього простору корпусу. Саме тому виникає необхідність розробки інтерактивної 3D-карти, яка поєднуватиме функції цифрової навігації та тривимірної візуалізації.

Для реалізації системи було обрано підхід MVP (Minimum Viable Product), який передбачає створення мінімально необхідного функціоналу для перевірки працездатності концепції. Основна увага приділяється реалізації базових можливостей системи, які забезпечують зручну навігацію користувачів у межах корпусу університету. До таких функцій належать:

- відображення тривимірної моделі будівлі;
- обертання та масштабування сцени;
- перемикання між поверхами;
- пошук аудиторій;
- відображення інформації про приміщення;

- побудова та відображення маршруту між обраними точками у межах будівлі;
- підтримка мультимовності;
- адаптивність інтерфейсу для мобільних пристроїв.

Однією з головних переваг розроблюваної системи є можливість віртуального перегляду внутрішніх приміщень без фізичної присутності користувача у будівлі. Це дозволяє значно покращити процес орієнтації та забезпечити швидкий доступ до інформації про розташування аудиторій. Використання інтерактивної тривимірної моделі також сприяє підвищенню рівня сприйняття простору та робить процес навігації більш інтуїтивно зрозумілим.

Важливим аспектом предметного середовища є використання сучасних вебтехнологій для створення інтерактивного застосунку. Для реалізації тривимірної графіки доцільним є використання технології WebGL та бібліотеки Three.js, які дозволяють створювати інтерактивні 3D-сцени безпосередньо у браузері. Для побудови користувацького інтерфейсу використовується бібліотека React, яка забезпечує компонентний підхід до розробки та дозволяє створити зручний і масштабований вебдодаток.

Окрему увагу під час проектування системи приділено питанням зручності використання та доступності інтерфейсу. Вебдодаток повинен бути зрозумілим для користувачів різного віку та рівня технічної підготовки. Саме тому інтерфейс системи проектується з урахуванням сучасних принципів UX/UI-дизайну. Для покращення користувацького досвіду передбачено реалізацію бокової інформаційної панелі, системи пошуку аудиторій, а також можливості перемикання мов інтерфейсу.

Крім того, важливим елементом системи є адаптивність вебдодатка. Оскільки значна частина користувачів працюватиме із системою за допомогою смартфонів або планшетів, вебдодаток повинен коректно відображатися на пристроях із різними розмірами екранів. Це забезпечує можливість використання системи не лише на персональних комп'ютерах, але й на мобільних пристроях без втрати функціональності.

Додатково в системі реалізовано інтерактивну навігацію, що забезпечує побудову маршруту між обраними точками у межах будівлі. Для цього

використовується графова модель простору, де ключові локації представлені як вузли, а можливі переходи між ними — як ребра. На основі цієї структури автоматично визначається шлях між початковою та кінцевою точками.

Візуалізація маршруту здійснюється безпосередньо у тривимірному середовищі у вигляді лінії, що послідовно з'єднує проміжні точки шляху, що дозволяє користувачу інтуїтивно орієнтуватися у просторі будівлі.

Під час аналізу предметного середовища також було визначено основні сценарії взаємодії користувача із системою. Користувач повинен мати можливість переглядати тривимірну модель корпусу, взаємодіяти зі сценою, перемикатися між поверхами, знаходити потрібні аудиторії та переглядати інформацію про приміщення. Усі ці функції мають бути реалізовані через інтуїтивно зрозумілий вебінтерфейс.

Таким чином, проведений аналіз предметного середовища підтвердив актуальність створення інтерактивної 3D-карти основного корпусу Національного університету «Острозька академія». Розробка такого вебдодатка дозволить покращити навігацію у межах навчального закладу, спростити пошук приміщень та забезпечити користувачам сучасний інструмент цифрової взаємодії з простором університету.

1.2 Огляд наявних аналогів

У сучасних умовах активного розвитку цифрових технологій системи навігації та візуалізації простору набувають широкого поширення у різних сферах діяльності. Подібні рішення використовуються у торгових центрах, аеропортах, лікарнях, бізнес-центрах, музеях та закладах освіти. Основною метою таких систем є забезпечення швидкого доступу до інформації про розташування об'єктів, спрощення орієнтації користувачів у складних приміщеннях та покращення взаємодії з простором за допомогою сучасних інформаційних технологій.

Особливо актуальною проблема навігації є для закладів вищої освіти, оскільки університетські корпуси часто мають складну архітектурну структуру, велику

кількість аудиторій, адміністративних кабінетів, кафедр та допоміжних приміщень. Традиційні засоби навігації у вигляді друкованих схем або інформаційних стендів не забезпечують достатнього рівня зручності та інтерактивності, тому останніми роками активно розвиваються цифрові системи внутрішньої навігації (Indoor Navigation), що використовують вебтехнології та засоби тривимірної візуалізації.

Одним із найвідоміших аналогів у сфері цифрової навігації є сервіс Google Google Maps. Основною перевагою даної платформи є глобальне покриття, висока точність геолокації та зручність використання. Крім зовнішньої навігації, Google Maps підтримує функцію Indoor Maps, що дозволяє переглядати плани окремих великих будівель, зокрема торгових центрів, аеропортів та бізнес-комплексів.

Однак функціональні можливості Google Maps мають певні обмеження для використання у середовищі закладів освіти. Насамперед система не орієнтована на детальну навігацію всередині університетських корпусів. Рівень деталізації приміщень є недостатнім, а внутрішні карти доступні лише для окремих об'єктів. Крім того, Google Maps не забезпечує повноцінної інтерактивної тривимірної взаємодії з внутрішнім простором будівлі та не підтримує спеціалізованих функцій, пов'язаних із навчальним процесом, таких як швидкий пошук аудиторій чи адаптація інтерфейсу під потреби університету.

Ще одним популярним рішенням є сервіс Apple Apple Maps, який також підтримує елементи внутрішньої навігації для окремих громадських будівель. Основними перевагами даної системи є інтеграція з екосистемою Apple та зручний мобільний інтерфейс. Проте підтримка внутрішньої навігації є обмеженою як функціонально, так і територіально. Apple Maps орієнтований переважно на комерційні та міські сценарії використання і не забезпечує можливостей адаптації під структуру конкретного навчального закладу.

Серед сучасних систем внутрішньої навігації окрему увагу привертає платформа MazeMap. Дане рішення є одним із найбільш наближених аналогів до розроблюваної системи, оскільки спеціалізується саме на цифровій навігації у великих будівлях та університетських кампусах. MazeMap дозволяє створювати

інтерактивні карти приміщень, підтримує пошук аудиторій, навігацію між поверхами та відображення маршрутів у реальному часі.

Основною перевагою MazeMap є орієнтація на освітнє середовище та підтримка внутрішньої навігації для великих університетських комплексів. Користувач може швидко знайти потрібну аудиторію, побудувати маршрут та отримати інформацію про розташування приміщень. Також система підтримує вебдоступ та адаптацію під мобільні пристрої.

Попри широкий функціонал, MazeMap має ряд обмежень у контексті даної роботи. Насамперед система орієнтована переважно на двовимірне відображення простору та не забезпечує повноцінної інтерактивної тривимірної візуалізації внутрішніх приміщень. Крім того, MazeMap є комерційною платформою із закритою архітектурою, що обмежує можливості модифікації функціоналу відповідно до потреб конкретного університету. Також інтеграція подібного рішення потребує додаткових фінансових витрат та складного процесу налаштування.

Окрему категорію аналогів становлять віртуальні 3D-тури, які створюються для презентації навчальних закладів, музеїв або комерційних приміщень. Подібні рішення дозволяють користувачу переглядати внутрішній простір будівлі у режимі онлайн та взаємодіяти із середовищем через браузер.

Однією з найбільш відомих платформ у цій сфері є Matterport Matterport. Система забезпечує створення високоякісних інтерактивних 3D-турів із можливістю переміщення між приміщеннями та перегляду простору з різних ракурсів. Matterport широко використовується у сфері нерухомості, готельного бізнесу та віртуальних презентацій.

Основною перевагою Matterport є високий рівень візуалізації та реалістичність відображення приміщень. Однак дана платформа має суттєві обмеження для використання у навчальному середовищі. Насамперед система орієнтована на демонстрацію простору, а не на реалізацію повноцінної навігації. У Matterport відсутній спеціалізований функціонал для швидкого пошуку аудиторій, інтеграції з навчальним процесом та адаптації під структуру університету. Крім того, створення 3D-турів потребує використання спеціального обладнання та комерційної підписки.

У багатьох закладах освіти також використовуються статичні плани поверхів та друковані схеми навігації. Такі рішення є найпростішими у реалізації, оскільки не потребують використання складних технологій розробки. Зазвичай вони розміщуються на офіційних сайтах університетів або безпосередньо у приміщеннях корпусів.

Проте статичні схеми мають значну кількість недоліків. Вони не забезпечують інтерактивної взаємодії з користувачем, не підтримують функції пошуку аудиторій, не дозволяють переглядати приміщення у тривимірному форматі та не адаптуються під різні сценарії використання. Крім того, користувачу складно орієнтуватися у великих багатоповерхових будівлях лише за допомогою двовимірного плану.

Для створення сучасних систем тривимірної візуалізації активно використовуються технології WebGL та JavaScript-бібліотеки для роботи з 3D-графікою. Одним із найпоширеніших інструментів є бібліотека Three.js Three.js, яка дозволяє створювати інтерактивні тривимірні сцени безпосередньо у браузері. Three.js підтримує роботу з освітленням, анімацією, текстурами та взаємодією з об'єктами сцени.

Для інтеграції тривимірної графіки у React-застосунки широко використовується бібліотека `@react-three/fiber`, яка забезпечує декларативний підхід до створення 3D-сцен. Використання даних технологій дозволяє реалізувати інтерактивний вебдодаток із високим рівнем продуктивності та сучасним користувацьким інтерфейсом.

Проведений аналіз існуючих аналогів показав, що більшість сучасних систем або орієнтовані переважно на зовнішню навігацію, або не забезпечують достатнього рівня деталізації внутрішніх приміщень навчальних корпусів. Частина рішень має обмежений функціонал, а інші є комерційними платформами із закритою архітектурою та недостатньою адаптацією під освітнє середовище.

На відміну від розглянутих аналогів, розроблювана інтерактивна 3D-карта основного корпусу Національного університету «Острозька академія» орієнтована саме на потреби університетського середовища. Система поєднуватиме можливості

тривимірної візуалізації, інтерактивної навігації, пошуку аудиторій, перемикання поверхів та підтримки мультимовності у межах єдиного вебдодатка.

Крім того, запропоноване рішення передбачає використання сучасних вебтехнологій, що дозволяє забезпечити доступ до системи без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Це робить систему більш гнучкою, доступною та адаптованою під потреби студентів, викладачів, абітурієнтів та гостей університету.

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують актуальність та доцільність розробки інтерактивної 3D-карти основного корпусу Національного університету «Острозька академія», яка дозволить усунути недоліки існуючих аналогів та забезпечити більш зручну й сучасну систему навігації у межах навчального закладу.

1.3 Постановка задачі

Постановка задачі дослідження є важливим етапом розробки програмного продукту, оскільки дозволяє визначити основні цілі, функціональні вимоги та очікувані результати створення системи. На основі проведеного аналізу предметного середовища та огляду існуючих аналогів було визначено основні проблеми навігації у межах навчального корпусу Національного університету «Острозька академія», а також сформовано завдання для створення інтерактивної системи цифрової навігації.

Основною проблемою є складність орієнтації користувачів у приміщеннях корпусу через велику кількість аудиторій, кабінетів та поверхів. Існуючі способи навігації у вигляді друкованих схем або інформаційних стендів не забезпечують достатнього рівня інтерактивності, швидкості пошуку та зручності використання. Це створює необхідність розробки сучасного веб-додатка, який дозволить користувачам взаємодіяти з тривимірною моделлю будівлі та швидко отримувати інформацію про розташування приміщень.

1.3.1 Мета дослідження

Метою дослідження є проектування та розробка інтерактивної 3D-карти основного корпусу Національного університету «Острозька академія» у вигляді веб-додатка, який забезпечує зручну навігацію між приміщеннями, швидкий пошук аудиторій та інтерактивну взаємодію користувача з тривимірною моделлю будівлі.

Розроблювана система повинна забезпечити відображення тривимірної моделі корпусу у веб-браузері, підтримку перемикання поверхів, взаємодію з об'єктами сцени, перегляд інформації про приміщення, а також підтримку мультимовного інтерфейсу. Важливим аспектом є забезпечення доступності системи без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення, що дозволить використовувати її на різних пристроях та операційних системах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку теоретичних та практичних завдань, пов'язаних із дослідженням сучасних веб-технологій, проектуванням архітектури системи та реалізацією функціоналу інтерактивної карти.

1.3.2 Теоретичні завдання

Теоретичні завдання дослідження включають аналіз сучасних підходів до створення інтерактивних веб-додатків із використанням тривимірної графіки, а також дослідження технологій, необхідних для реалізації систем цифрової навігації.

Одним із основних напрямів дослідження є аналіз технології WebGL, яка забезпечує можливість відображення тривимірної графіки безпосередньо у веб-браузері без використання сторонніх плагінів. Дослідження даної технології дозволяє визначити її переваги для створення інтерактивних веб-систем та оцінити можливості використання у задачах візуалізації архітектурних об'єктів.

Також важливим завданням є аналіз бібліотеки Three.js та її можливостей для створення тривимірних сцен, роботи з освітленням, анімацією та інтерактивною взаємодією з об'єктами. Дослідження компонентного підходу до розробки інтерфейсів із використанням React дозволяє забезпечити модульність, масштабованість та зручність підтримки програмного продукту.

Окрему увагу приділено дослідженню сучасних принципів UX/UI-дизайну для веб-додатків, оскільки система повинна забезпечувати інтуїтивно зрозумілу взаємодію користувача з тривимірним середовищем та зручну навігацію між функціональними елементами інтерфейсу.

1.3.3 Практичні завдання

Практичні завдання дослідження пов'язані безпосередньо з реалізацією інтерактивної 3D-карти корпусу університету та впровадженням основного функціоналу системи.

Насамперед необхідно виконати проектування структури веб-додатка та архітектури React-компонентів. Система повинна забезпечувати розділення інтерфейсу на окремі модулі, що відповідають за відображення тривимірної сцени, інформаційної панелі, системи пошуку та елементів навігації.

Для реалізації тривимірної частини додатка необхідно створити 3D-модель корпусу та забезпечити її відображення у браузері із використанням бібліотеки Three.js та середовища @react-three/fiber. Практична реалізація також включає налаштування освітлення сцени, камер, матеріалів та інтерактивної взаємодії з об'єктами.

Одним із ключових завдань є реалізація функціоналу навігації, що включає можливість обертання сцени, масштабування, перемикання поверхів та взаємодії з окремими приміщеннями. Крім того, необхідно реалізувати систему пошуку аудиторій та механізм відображення додаткової інформації про вибране приміщення.

Важливою частиною практичної реалізації є підтримка мультимовності інтерфейсу із використанням бібліотеки i18next, що забезпечить можливість використання системи українською та англійською мовами.

Також до практичних завдань належить оптимізація продуктивності веб-додатка для забезпечення стабільної роботи тривимірної сцени у браузері та зменшення навантаження на пристрій користувача.

1.3.4 Критерії успіху та очікувані результати

Критеріями успіху дослідження є створення працездатного веб-додатка з реалізованим функціоналом інтерактивної навігації, коректним відображенням тривимірної моделі корпусу та можливістю взаємодії користувача з елементами сцени.

Система повинна забезпечувати:

- коректне відображення 3D-моделі у браузері;
- стабільну роботу навігації між поверхами;
- можливість пошуку аудиторій;
- підтримку інтерактивної взаємодії з приміщеннями;
- адаптивність інтерфейсу;
- побудову маршруту між обраними точками у 3D-просторі будівлі.
- підтримку мультимовності;
- зручність використання для різних категорій користувачів.

Очікуваним результатом дослідження є створення сучасного інтерактивного веб-додатка, який дозволить покращити навігацію у межах основного корпусу Національного університету «Острозька академія» та забезпечить користувачам швидкий доступ до інформації про приміщення університету.

Розроблена система може бути використана студентами, викладачами, абітурієнтами та гостями університету для ефективної орієнтації у будівлі, а також може слугувати основою для подальшого розвитку цифрової інфраструктури навчального закладу.

Висновок до розділу

У першому розділі дипломної роботи було проведено комплексний аналіз предметного середовища та визначено основні проблеми, пов'язані з навігацією у межах головного корпусу Національного університету «Острозька академія». Встановлено, що сучасні навчальні заклади мають складну архітектурну структуру з великою кількістю аудиторій, адміністративних приміщень, кафедр та допоміжних

зон, що ускладнює процес орієнтації користувачів у просторі. Особливо актуальною дана проблема є для абітурієнтів, гостей університету та студентів молодших курсів, які вперше перебувають у корпусі та не мають достатнього досвіду навігації будівлею.

У процесі дослідження було визначено основні потреби користувачів та сформовано бачення майбутнього програмного продукту. Встановлено, що існуючі способи навігації, які базуються на використанні друкованих схем або інформаційних стендів, не забезпечують достатнього рівня зручності, інтерактивності та швидкості пошуку необхідних приміщень. У зв'язку з цим було обґрунтовано доцільність створення інтерактивної системи цифрової навігації, що поєднуватиме можливості вебтехнологій та тривимірної візуалізації.

У межах підрозділу було виконано аналіз цільової аудиторії системи та визначено основні категорії користувачів, до яких належать студенти, викладачі, абітурієнти, гості університету та представники делегацій. Для кожної категорії користувачів визначено ключові потреби та сценарії взаємодії із системою. Також було сформовано мінімально необхідний функціонал системи (MVP), який включає відображення тривимірної моделі корпусу, можливість обертання та масштабування сцени, перемикання поверхів, пошук аудиторій і перегляд додаткової інформації про приміщення, побудову маршруту між обраними точками у межах 3D-моделі будівлі.

Під час дослідження було виконано аналіз зацікавлених сторін проекту та побудовано модель stakeholders, що дозволило визначити рівень впливу та зацікавленості учасників процесу розробки. На основі отриманих результатів сформовано матрицю «Влада / Інтерес», яка дала можливість визначити пріоритетність вимог різних груп користувачів та сформулювати ефективну стратегію взаємодії зі стейкхолдерами протягом життєвого циклу системи.

Для формалізації функціональних можливостей системи було побудовано UML-діаграму використання, яка відображає основні сценарії взаємодії користувача із веб-додатком. Діаграма дозволила визначити ключові функції системи, серед яких перегляд тривимірної моделі, навігація між поверхами, пошук аудиторій, перегляд інформації про приміщення та підтримка мультимовності інтерфейсу.

У підрозділі огляду аналогів було проаналізовано сучасні рішення у сфері цифрової навігації та тривимірної візуалізації, зокрема Google Maps, Apple Maps, MazeMap, Matterport, а також статичні плани приміщень. Проведений аналіз показав, що більшість наявних рішень орієнтовані переважно на зовнішню навігацію або мають обмежений функціонал щодо інтерактивної роботи з внутрішнім простором навчальних корпусів. Крім того, частина платформ є комерційними та не забезпечує достатньої гнучкості для адаптації під потреби конкретного університету.

На основі результатів аналізу предметного середовища та існуючих аналогів було сформульовано постановку задачі дослідження. Визначено основну мету розробки — створення інтерактивної 3D-карти головного корпусу Національного університету «Острозька академія» у вигляді веб-додатка, який забезпечує зручну навігацію, швидкий пошук аудиторій та інтерактивну взаємодію користувача з моделлю будівлі.

Отже, результати проведеного дослідження підтверджують актуальність та практичну значущість створення інтерактивної 3D-карти корпусу університету. Запропоноване рішення дозволить покращити навігацію у межах навчального закладу, підвищити зручність орієнтації користувачів у просторі та забезпечити сучасний рівень цифрової взаємодії з університетським середовищем. Отримані результати є основою для подальшого проектування архітектури системи, вибору технологій реалізації та розробки програмного продукту у наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 2

ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Аналіз предметної області (вхідні та вихідні дані)

Характеристика об'єкта моделювання.

Об'єктом дослідження у даній роботі є інформаційний простір основного корпусу Національного університету «Острозька академія». Даний об'єкт характеризується складною просторовою структурою, багаторівневою організацією та великою кількістю функціонально різнорідних приміщень. У межах корпусу щоденно відбувається активна взаємодія між різними категоріями користувачів, такими як студенти, викладачі, адміністративний персонал та відвідувачі університету.

З точки зору розробки інтерактивної системи навігації, об'єкт має ряд важливих особливостей. По-перше, будівля має декілька поверхів, що вимагає реалізації механізмів логічного розділення простору та перемикання між рівнями. По-друге, приміщення мають різне функціональне призначення, що зумовлює необхідність формування структурованої системи опису об'єктів. По-третє, складна внутрішня топологія будівлі потребує чіткої ідентифікації кожного приміщення для забезпечення коректної навігації користувача.

У процесі аналізу предметної області було детально досліджено структуру корпусу та визначено основні навігаційні елементи, включаючи вхідні групи, сходові клітини, основні коридори та зони загального доступу. На основі цього було сформовано логічну модель просторового розміщення об'єктів, яка використовується як основа для побудови інтерактивної 3D-системи навігації.

Окрему увагу приділено системі ідентифікації аудиторій, що використовується в університеті та базується на цифрово-літерних позначеннях. У межах роботи було проведено аналіз та структурування назв приміщень з метою уніфікації їхнього представлення у цифровій системі. Це дозволило забезпечити коректну обробку

пошукових запитів та підвищити точність взаємодії користувача з системою навіть у випадку неповного введення даних.

Аналіз вхідних даних.

Вхідні дані системи представляють собою сукупність інформаційних елементів, необхідних для побудови та функціонування інтерактивної 3D-карти. Вони формують основу для відображення об'єктів у тривимірному середовищі та забезпечують взаємодію користувача із системою.

Умовно вхідні дані можна поділити на три основні категорії: просторові (топологічні), інформаційно-довідкові та системні.

Просторові (топологічні) дані включають схеми поверхів, плани розташування приміщень та загальну структуру будівлі. Вони використовуються для формування логіки розміщення об'єктів у 3D-сцені, а також для реалізації механізму перемикання між поверхами. На основі цих даних було побудовано відповідність між реальним архітектурним простором та його цифровим представленням.

Для побудови інтерактивної 3D-моделі корпусу було використано архітектурні плани поверхів основного корпусу Національного університету «Острозька академія». Дані плани стали основою для формування просторової структури системи та подальшого моделювання внутрішнього середовища будівлі у цифровому форматі.

На основі плану першого поверху було визначено розташування основних приміщень, коридорів, сходових клітин та зон загального доступу. Отримані дані використовувалися для побудови базової структури навігаційної моделі та реалізації логіки переміщення користувача між ключовими об'єктами системи.

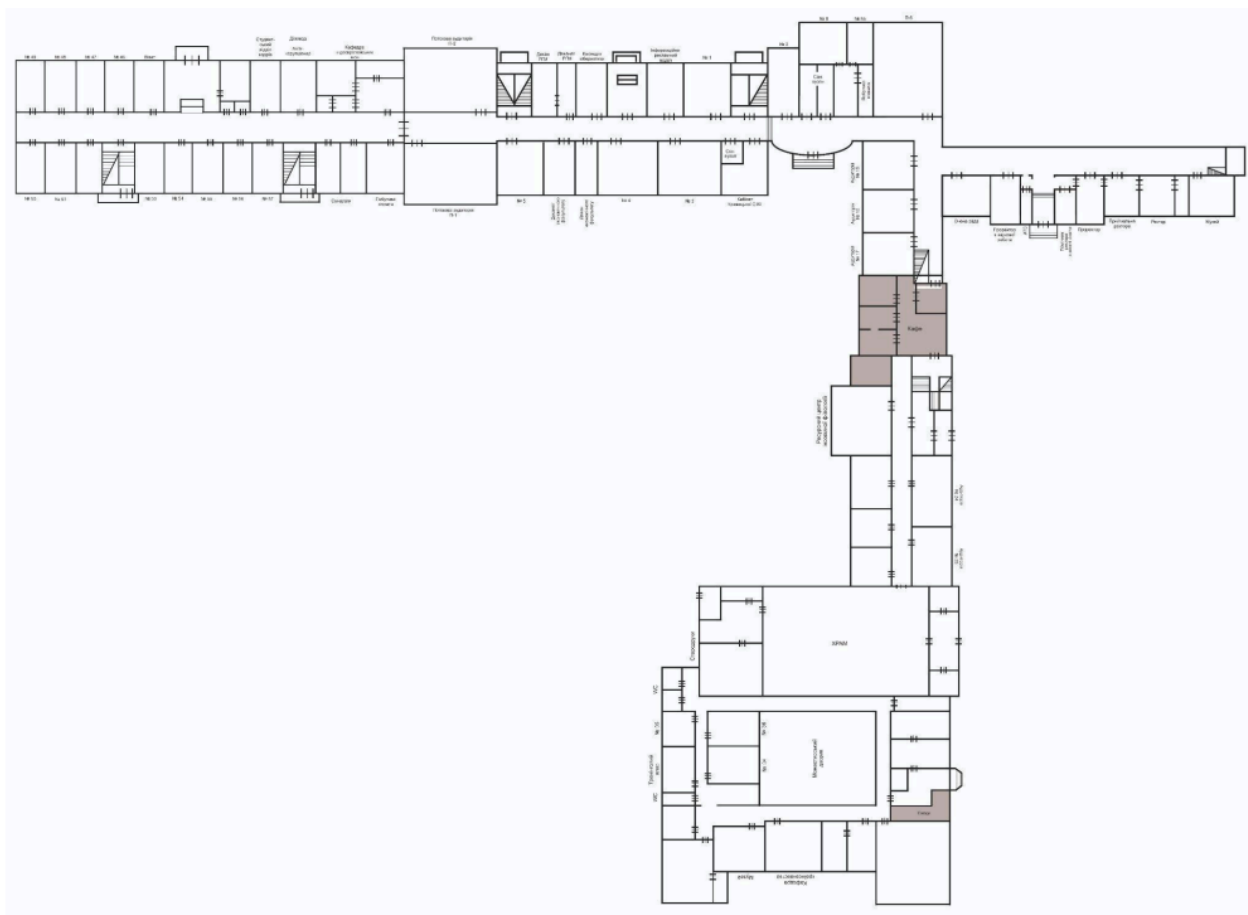


Рис. 2.1 - План першого поверху

Джерело: Національний університет «Острозька академія»

Під час аналізу другого поверху було виконано структурування приміщень відповідно до їх функціонального призначення та визначено взаємозв'язки між окремими навігаційними зонами. План другого поверху також використовувався для формування топології маршрутизації та реалізації механізму перемикання між поверхами у веб-додатку.

інтерфейсом користувача та 3D-середовищем, зокрема функції пошуку, вибору та підсвічування об'єктів.

Структурування та формалізація даних.

Для забезпечення ефективної роботи веб-додатка всі дані були приведені до структурованого вигляду та адаптовані для використання у клієнтській частині системи, реалізованій на базі React та Three.js.

Основною одиницею інформаційної моделі є об'єкт «приміщення», який описується набором атрибутів. Для організації даних було використано формат JSON, що дозволяє забезпечити зручну передачу та обробку інформації між компонентами системи.

Формалізована структура об'єкта має вигляд:

Room:

- id — унікальний ідентифікатор приміщення
- name — номер або назва аудиторії
- floor — поверх розташування
- position — координати у 3D-просторі (x, y, z)
- type — тип приміщення (аудиторія, лабораторія, кабінет тощо)
- description — додаткова інформація

Загальна структура системи організована у вигляді ієрархії:

будівля → поверхи → приміщення

Такий підхід дозволяє логічно структурувати дані, забезпечує масштабованість системи та спрощує реалізацію функцій навігації, фільтрації та пошуку.

У процесі підготовки даних було також реалізовано систему категоризації об'єктів. Кожному приміщенню було присвоєно відповідні теги залежно від його функціонального призначення (наприклад, навчальні аудиторії, лабораторії, адміністративні кабінети). Це дозволило реалізувати механізм фільтрації та групового відображення об'єктів у 3D-сцені.

Взаємодія користувача з системою (логіка обробки даних)

У межах розробленої системи користувач взаємодіє з 3D-картою через набір інтерактивних дій, таких як вибір приміщення, пошук аудиторії, перемикання поверхів та навігація у сцені.

Усі дії користувача розглядаються як входні події, які обробляються системою та трансформуються у відповідні зміни стану інтерфейсу. Зокрема:

- при введенні пошукового запиту виконується фільтрація списку об'єктів;
- при виборі аудиторії здійснюється фокусування камери на відповідному об'єкті;
- при зміні поверху оновлюється видима частина 3D-сцени;
- при наведенні або кліку на об'єкт активується інформаційна панель.

Таким чином, система реалізує модель взаємодії “подія → обробка → візуальний результат”, що забезпечує інтуїтивність та зручність використання.

Вихідні дані системи.

У результаті обробки входних даних система формує набір вихідних результатів, які відображаються користувачу у режимі реального часу.

До основних вихідних даних належать:

Візуальні зміни у 3D-сцені.

Система забезпечує динамічне оновлення стану об'єктів, включаючи підсвічування вибраних приміщень, зміну їхнього вигляду та акцентування уваги користувача.

Інформаційні панелі.

При взаємодії з об'єктами відображається структурована інформація про відповідну аудиторію, яка включає її назву, опис та додаткові характеристики.

Результати пошуку.

Система формує список відповідних приміщень на основі введенного користувачем запиту та забезпечує можливість автоматичного переміщення камери до вибраного об'єкта.

Навігаційний стан камери.

Змінюється положення та орієнтація камери у 3D-просторі відповідно до дій користувача, що забезпечує інтерактивну навігацію у межах моделі будівлі.

Таким чином, у результаті аналізу предметної області було сформовано структуровану інформаційну модель основного корпусу університету, яка включає опис об'єктів, їх взаємозв'язки та правила взаємодії з користувачем. Перетворення архітектурного простору у цифрову модель дозволило забезпечити основу для реалізації інтерактивної 3D-системи навігації у веб-середовищі.

2.2 Проектування системи

Проектована інформаційна система інтерактивної 3D-навігації корпусом університету реалізована як веб-додаток на основі компонентної архітектури. Система забезпечує взаємодію користувача з тривимірною моделлю будівлі через графічний інтерфейс, механізми пошуку та інтерактивне керування об'єктами сцени.

Основною метою проектування є створення зручного інструменту навігації, який дозволяє користувачу швидко знаходити аудиторії, переглядати інформацію про приміщення та переміщатися між поверхами в межах 3D-середовища.

Архітектура системи.

Система побудована як клієнтський веб-додаток і включає такі технологічні компоненти:

- `React` — використовується для реалізації користувацького інтерфейсу (меню, пошук, панелі керування, інформаційні блоки).
- `Three.js` / `@react-three/fiber` — забезпечує побудову та рендеринг 3D-сцени корпусу університету.
- `@react-three/drei` — використовується для спрощення роботи з 3D-об'єктами, моделями та контролерами камери.
- `useState` (React стан) — застосовується для керування станом додатку (активна аудиторія, відкриті секції меню, пошук, активний поверх).
- `i18next` + `react-i18next` — забезпечує підтримку багатомовного інтерфейсу (українська та англійська мови).

Таким чином, система реалізована як односторінковий додаток (SPA), у якому інтерфейс користувача та 3D-сцена працюють синхронно та взаємопов'язано.

Логічна структура системи.

Архітектура системи поділяється на кілька взаємопов'язаних рівнів:

- UI layer (рівень інтерфейсу)

Відповідає за відображення елементів керування: бокове меню (burger menu), пошук аудиторій, перемикання мов, вибір секцій приміщень та відображення списку аудиторій.

- Scene layer (рівень 3D-сцени)

Містить тривимірні моделі поверхів та інтерактивні зони аудиторій. На цьому рівні реалізується взаємодія з об'єктами сцени: клік по аудиторії, підсвічування активного об'єкта, зміна положення камери та перемикання поверхів.

- Interaction layer (рівень взаємодії)

Забезпечує зв'язок між діями користувача та станом системи. Сюди належать:

- вибір аудиторії через меню або 3D-сцену;
- пошук аудиторій за назвою;
- керування відкриттям/закриттям секцій меню;
- обробка кліків по інтерактивних зонах;
- зміна активного стану об'єктів.

- Data layer (рівень даних)

Представлений структурованими об'єктами JavaScript (масиви та JSON-структури), які описують аудиторії, їх ідентифікатори, назви та відповідність елементам 3D-сцени. Збереження здійснюється без використання бази даних.

Концептуальна модель даних.

У системі використовується логічна модель даних, яка відображає структуру навчального корпусу.

Building (корпус):

- floors[] — список поверхів

Floor (поверх):

- id — ідентифікатор поверху
- name — назва поверху
- rooms[] — список аудиторій

Room (аудиторія):

- id — унікальний ідентифікатор (наприклад: a1, rector, dekanat)
- name — відображувана назва аудиторії (локалізована через i18n)
- type — тип приміщення (адміністрація, аудиторія, деканат тощо)
- position — координати або прив'язка до 3D-об'єкта сцени
- state — активність (вибрана / неактивна)

Така структура дозволяє пов'язати елементи інтерфейсу з об'єктами 3D-сцени та забезпечує інтерактивну взаємодію.

Інтерактивна модель системи.

Інтерактивність системи реалізується через події користувача та зміну стану додатку.

Основні сценарії взаємодії:

- відкриття бокового меню (burger menu);
- пошук аудиторії через текстовий ввід;
- вибір аудиторії зі списку або через 3D-сцену;
- підсвічування вибраної аудиторії в сцені;
- перемикання між поверхами;
- зміна мови інтерфейсу (UA / EN);
- автоматичне оновлення стану інтерфейсу та сцени.

При виборі аудиторії система передає її ідентифікатор між компонентами інтерфейсу та 3D-сценою, що дозволяє синхронізувати візуальне виділення об'єкта та інформаційну панель.

2.3 Математичне та алгоритмічне забезпечення

У межах розробленої інформаційної системи інтерактивної 3D-навігації корпусом університету сформовано математичне та алгоритмічне забезпечення, яке визначає принципи представлення простору, пошуку маршрутів, взаємодії користувача з об'єктами сцени та управління станом системи. Дане забезпечення є

основою функціонування системи, оскільки саме воно визначає логіку роботи навігації, обробки подій та побудови візуального середовища.

Основою системи є формалізація внутрішнього простору будівлі у вигляді структурованої моделі, що дозволяє виконувати навігацію, пошук та візуалізацію об'єктів у тривимірному середовищі.

Для опису структури будівлі використано графову модель.

Будівля розглядається як граф:

- вершини графа відповідають приміщенням (аудиторії, кабінети, службові кімнати, зони загального користування);
- ребра графа відображають фізичні зв'язки між приміщеннями (коридори, переходи, сходові клітини).

Такий підхід дозволяє розглядати навігацію в межах будівлі як задачу пошуку шляху в графі, що є класичною задачею теорії графів.

Графова модель забезпечує логічну структурування простору будівлі шляхом подання її внутрішньої структури у вигляді взаємопов'язаних елементів, де кожне приміщення розглядається як окрема вершина графа, а фізичні зв'язки між ними формують ребра. Такий підхід дозволяє відобразити реальну архітектуру корпусу університету у формалізованому вигляді, що значно спрощує подальшу обробку даних та реалізацію навігаційних функцій. Крім того, використання графової моделі забезпечує можливість масштабування системи, оскільки при додаванні нових приміщень або зміни структури будівлі достатньо лише розширити множину вершин та ребер без необхідності перебудови всієї логіки системи. Важливо також зазначити, що така модель гарантує коректну побудову маршрутів між об'єктами, оскільки дозволяє чітко визначити всі можливі шляхи переміщення користувача в межах будівлі та враховує їх взаємозв'язки.

Алгоритм побудови маршруту між приміщеннями базується на використанні алгоритму пошуку в ширину (BFS), який застосовується для знаходження найкоротшого шляху в незваженому графі. Його вибір обумовлений тим, що всі переходи між приміщеннями в межах будівлі мають однакову умовну "вартість", тобто не існує додаткових вагових коефіцієнтів, які б впливали на вибір маршруту. У

процесі роботи алгоритму початкова вершина, що відповідає поточному місцезнаходженню користувача, додається до черги обробки, після чого виконується послідовний перегляд усіх суміжних вершин. Кожна відвідана вершина позначається як оброблена, що дозволяє уникнути повторного перегляду одних і тих самих елементів та підвищує ефективність обчислень. Алгоритм поступово розширює область пошуку доти, доки не буде досягнуто цільової вершини, яка відповідає обраному користувачем приміщенню. Після цього відбувається відновлення знайденого шляху у зворотному напрямку, що дозволяє сформувати повний маршрут переміщення між двома точками простору. Використання BFS у даній системі є доцільним, оскільки він гарантує знаходження оптимального маршруту за кількістю переходів та забезпечує стабільну роботу навіть при збільшенні кількості об'єктів у структурі будівлі.

Окремим елементом математичного забезпечення є координатна модель тривимірної сцени. Тривимірна модель будівлі реалізована у декартовій системі координат, де кожне приміщення задається трьома значеннями: координатою X , що визначає горизонтальне зміщення, координатою Y , що відповідає висоті або поверху, та координатою Z , яка визначає глибину розташування об'єкта в сцені. Таким чином, кожен елемент сцени може бути інтерпретований як точка у тривимірному просторі.

Дана модель забезпечує точне позиціонування об'єктів, коректне відтворення архітектури будівлі та можливість реалізації навігації камерою у межах 3D-середовища. Завдяки цьому користувач отримує реалістичне представлення простору та інтуїтивно зрозумілу навігацію.

Переміщення камери між об'єктами реалізується як окремий алгоритм плавного переходу між двома точками простору. Замість різкої зміни позиції використовується інтерполяція, що дозволяє поступово змінювати координати камери та створювати ефект природного руху. Такий підхід значно покращує сприйняття сцени користувачем, оскільки уникнення різких стрибків камери робить навігацію більш комфортною та візуально стабільною.

Важливою складовою системи є модель взаємодії користувача з 3D-середовищем, яка базується на подієвому підході. Кожна дія користувача, така як

вибір приміщення, пошук аудиторії, перемикання поверху або навігація у сцені, розглядається як подія, що ініціює відповідні зміни стану системи.

Для визначення об'єкта, на який здійснюється взаємодія, використовується механізм raycasting. Його принцип полягає у формуванні уявного променя від камери у напрямку сцени та визначенні перетину цього променя з об'єктами 3D-моделі. У результаті система точно ідентифікує вибраний елемент та активує відповідні функціональні компоненти, зокрема інформаційну панель або підсвічування об'єкта.

Ще одним важливим елементом алгоритмічного забезпечення є механізм пошуку та фільтрації даних. У системі реалізовано алгоритм пошуку аудиторій за їхніми назвами або ідентифікаторами. Пошук здійснюється шляхом послідовного порівняння введеного користувачем запиту зі списком доступних об'єктів та формування результатів у вигляді відфільтрованого набору даних.

Додатково використовується механізм часткового співпадіння, який дозволяє знаходити потрібні приміщення навіть у випадку неповного або неточного введення назви. Це суттєво підвищує зручність використання системи та зменшує час пошуку необхідної інформації.

Оскільки система має багаторівневу структуру, реалізовано також алгоритм перемикання поверхів. Його робота полягає у зміні видимості об'єктів сцени шляхом приховування елементів поточного поверху та відображення об'єктів обраного рівня. Такий підхід дозволяє уникнути повного перезавантаження сцени та забезпечує швидке перемикання між рівнями будівлі без втрати продуктивності.

Усі описані алгоритми взаємодіють між собою та формують єдину систему навігації. Графова модель використовується для логіки побудови маршрутів, координатна модель забезпечує просторове представлення об'єктів, алгоритм BFS відповідає за пошук оптимальних шляхів, а raycasting та подієва модель забезпечують взаємодію користувача з системою.

Таким чином, реалізоване математичне та алгоритмічне забезпечення утворює комплексну основу функціонування системи, поєднуючи логічну структуру простору, методи обробки даних та механізми інтерактивної взаємодії. Це забезпечує

ефективну навігацію у межах 3D-середовища, зручність користування та можливість подальшого розширення системи без зміни її базової архітектури.

Висновки до розділу

У даному розділі було виконано аналіз предметної області інтерактивної 3D-системи навігації корпусом університету. На основі дослідження архітектури будівлі та принципів її цифрового представлення було сформовано структуровану інформаційну модель, яка відображає логічну організацію приміщень, їх взаємозв'язки та функціональні характеристики.

У межах розділу було описано основні категорії вхідних даних, що включають просторову інформацію про поверхи та аудиторії, довідкові відомості про приміщення, а також системні ідентифікатори, які забезпечують зв'язок між 3D-об'єктами та логічною структурою даних. Це дозволило сформуванати цілісну модель даних без використання реляційної бази даних, що реалізовано у вигляді ієрархічної JSON-структури.

Також було визначено принципи функціонування системи, включаючи алгоритми пошуку аудиторій, перемикання між поверхами, керування камерою та взаємодії користувача з 3D-середовищем на основі raycasting. Окрему увагу приділено механізмам обробки подій та синхронізації стану між інтерфейсом користувача та тривимірною сценою.

У результаті було сформовано математичне та алгоритмічне забезпечення системи, яке базується на використанні координатної моделі простору, операцій інтерполяції для плавного переміщення камери та лінійних алгоритмів пошуку для обробки запитів користувача.

Отже, результати розділу створюють теоретичну та практичну основу для подальшої програмної реалізації інтерактивної 3D-системи навігації, забезпечуючи її функціональність, масштабованість та зручність використання.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Засоби розробки

Для реалізації інтерактивної 3D-навігаційної системи корпусом університету було проаналізовано сучасні веб-технології та бібліотеки, які використовуються для створення динамічних інтерфейсів і тривимірної графіки. Основна увага приділялась інструментам, що забезпечують високу продуктивність, інтерактивність та можливість інтеграції 3D-візуалізації у веб-застосунки.

React.

React – це популярна JavaScript-бібліотека для створення користувацьких інтерфейсів, яка широко використовується у сучасній веб-розробці. Вона базується на компонентному підході, що дозволяє розділяти інтерфейс на незалежні та повторно використовувані частини. Це значно спрощує розробку складних систем, таких як інтерактивні карти або навігаційні платформи.

Однією з ключових особливостей React є використання віртуального DOM (Document Object Model), який дозволяє ефективно оновлювати лише ті елементи інтерфейсу, які змінилися. Завдяки цьому зменшується навантаження на браузер і підвищується продуктивність застосунку.

Для інтерактивної 3D-навігаційної системи React є особливо зручним, оскільки дозволяє керувати великою кількістю взаємопов'язаних елементів інтерфейсу: списками аудиторій, панелями інформації, пошуком та елементами керування сценою.

Переваги React.

Перевагами React є насамперед його компонентна архітектура, яка забезпечує повторне використання коду та дозволяє будувати інтерфейс як набір незалежних модулів. Такий підхід є особливо зручним для складних систем, оскільки кожен компонент відповідає за окрему частину функціоналу, наприклад меню навігації, пошук або інформаційні панелі. Важливою перевагою також є висока продуктивність, яка досягається завдяки використанню віртуального DOM, що

оновлює лише ті частини інтерфейсу, які змінилися, без повного перерендерингу сторінки. Це дозволяє забезпечити швидку та плавну роботу застосунку навіть при великій кількості інтерактивних елементів. Окрім цього, React забезпечує зручне управління станом інтерфейсу, що дозволяє ефективно синхронізувати взаємодію користувача з 3D-сценою та іншими компонентами системи. Додатковою перевагою є велика екосистема бібліотек і потужна підтримка спільноти, що значно спрощує розробку та розширення функціоналу. Також React легко інтегрується з бібліотеками для тривимірної графіки, зокрема Three.js, що є важливим для реалізації інтерактивної 3D-навігаційної системи.

Недоліки React.

Недоліками React можна вважати те, що для реалізації повноцінного функціоналу, зокрема маршрутизації або складного управління станом, часто необхідно підключати додаткові бібліотеки, що ускладнює структуру проекту та збільшує кількість залежностей. Крім того, для початківців React може бути складним у засвоєнні, особливо у великих проєктах, де потрібно одночасно працювати з компонентами, станом та взаємодією між різними частинами системи.

Three.js.

Three.js – це JavaScript-бібліотека, яка використовується для створення та відображення тривимірної графіки у веб-браузері за допомогою WebGL. Вона значно спрощує роботу з низькорівневим API WebGL і дозволяє створювати складні 3D-сцени з мінімальними зусиллями.

У контексті розробки інтерактивної 3D-карти університету Three.js є основним інструментом для побудови тривимірної моделі будівлі, обробки взаємодії з об'єктами та реалізації камери.

Бібліотека дозволяє імпортувати 3D-моделі у форматах GLTF/GLB, працювати з освітленням, текстурами, анімаціями та інтерактивними об'єктами, що робить її зручною для створення навігаційних систем.

Переваги Three.js.

Перевагами Three.js є широкий функціонал для роботи з тривимірною графікою, що дозволяє створювати складні та деталізовані 3D-сцени без

необхідності безпосередньої роботи з низькорівневим API WebGL. Це значно спрощує процес розробки, оскільки більшість графічних операцій уже реалізовані у вигляді готових інструментів. У межах даного проєкту Three.js забезпечує побудову інтерактивної 3D-моделі будівлі, взаємодію з окремими об'єктами сцени, а також реалізацію камерної навігації, що дозволяє користувачу оглядати модель з різних ракурсів.

Ще однією важливою перевагою є підтримка сучасних форматів 3D-моделей, зокрема GLTF та GLB, що дозволяє легко інтегрувати моделі, створені в зовнішніх редакторах, таких як Blender. Також бібліотека підтримує роботу з освітленням, матеріалами, текстурями та анімаціями, що дає можливість створювати більш реалістичні та візуально привабливі сцени. Додатковою перевагою є використання апаратного прискорення через WebGL, що забезпечує високу продуктивність навіть при великій кількості об'єктів у сцені.

Недоліки Three.js.

Недоліками Three.js є те, що при роботі з дуже складними сценами на слабких пристроях може знижуватися продуктивність, оскільки навантаження на графічний процесор зростає. Також бібліотека не містить готових інтерфейсних елементів, тому всі елементи керування, такі як кнопки, меню або панелі, необхідно реалізовувати окремо або використовувати додаткові бібліотеки, наприклад React. Це може ускладнювати архітектуру проєкту та вимагати додаткової інтеграції між різними технологіями.

@react-three/fiber.

@react-three/fiber – це бібліотека, яка забезпечує інтеграцію Three.js у React-екосистему. Вона дозволяє працювати з 3D-сценами декларативно, тобто описувати сцену як набір React-компонентів.

Це значно спрощує розробку, оскільки дозволяє поєднати логіку інтерфейсу та тривимірну графіку в єдиній архітектурі застосунку.

Переваги.

Перевагами @react-three/fiber є те, що ця бібліотека дозволяє інтегрувати Three.js у React-екосистему та працювати з тривимірними сценами у декларативному

стилі. Це означає, що замість імперативного опису 3D-сцени розробник може описувати її як набір React-компонентів, що значно спрощує структуру коду та підвищує його читабельність. У межах даного проєкту це дозволяє поєднати інтерфейс користувача та 3D-візуалізацію в єдину архітектуру, що забезпечує більш зручну взаємодію між компонентами системи.

Ще однією важливою перевагою є тісна інтеграція з React, що дозволяє використовувати всі його можливості, зокрема управління станом, хуки та компонентний підхід, без необхідності відокремлювати логіку 3D-сцени від інтерфейсу. Це робить розробку більш структурованою та зменшує складність синхронізації даних між UI та візуальною частиною застосунку. Також `@react-three/fiber` забезпечує кращу організацію коду при роботі зі складними сценами, оскільки кожен об'єкт сцени може бути реалізований як окремий компонент.

Недоліки.

Недоліками цієї бібліотеки є те, що вона додає додатковий рівень абстракції над Three.js, що може ускладнювати відлагодження у випадку складних помилок або нестандартної поведінки сцени. Крім того, для розуміння принципів роботи необхідно одночасно орієнтуватися як у React, так і в Three.js, що може підвищувати поріг входу для початківців.

`@react-three/drei`.

`@react-three/drei` – це набір готових інструментів і компонентів для роботи з Three.js у React. Він значно прискорює розробку, оскільки містить готові рішення для камери, освітлення, контролерів сцени та завантаження моделей.

У межах даного проєкту ця бібліотека використовується для спрощення налаштування сцени та керування камерою.

Переваги.

Переваги `@react-three/drei` полягають у значному прискоренні процесу розробки завдяки великій кількості готових компонентів, які можна використовувати без додаткового програмування складної логіки. Бібліотека добре інтегрується з `@react-three/fiber` та Three.js, забезпечуючи стабільну та зручну роботу з

3D-сценами. Також важливою перевагою є спрощене керування камерою та освітленням, що особливо корисно для інтерактивних навігаційних систем.

Недоліки.

Серед недоліків можна відзначити залежність від інших бібліотек екосистеми, зокрема Three.js та @react-three/fiber, а також те, що частина функціоналу є “чорним ящиком”, через що інколи складніше глибоко налаштовувати окремі поведінкові механізми сцени під специфічні потреби проєкту.

WebGL.

WebGL – це технологія, яка дозволяє відображати інтерактивну 3D-графіку безпосередньо у веб-браузері без використання плагінів. Вона використовує можливості графічного процесора (GPU), що забезпечує високу продуктивність.

У даній роботі WebGL є базовою технологією, на якій працює Three.js.

Переваги WebGL.

Переваги WebGL полягають у високій продуктивності завдяки використанню апаратного прискорення, що дозволяє обробляти складні 3D-сцени без значного навантаження на центральний процесор. Крім того, WebGL забезпечує кросплатформеність, оскільки працює у більшості сучасних браузерів без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Ще однією важливою перевагою є можливість створення інтерактивної графіки в реальному часі, що є критично важливим для навігаційних систем та 3D-візуалізацій.

Недоліки WebGL.

Серед недоліків WebGL можна відзначити його складність у використанні на низькому рівні, оскільки робота напряму з API вимагає глибоких знань графічного програмування. Також продуктивність може суттєво залежати від якості відеокарти користувача, а на слабких пристроях можливі обмеження у відображенні складних сцен або зниження плавності роботи інтерфейсу.

i18next (разом із react-i18next) – це бібліотека для реалізації мультимовності у веб-застосунках, яка дозволяє зручно організовувати переклади інтерфейсу та перемикає мову без перезавантаження сторінки. У даному проєкті вона використовується для підтримки української та англійської мов, що робить систему

більш доступною для користувачів. Усі текстові елементи винесені в окремі файли перекладів, завдяки чому їх легко редагувати та масштабувати в майбутньому.

3.2 Вимоги до технічного та програмного забезпечення

Розроблена інформаційна система є веб-додатком, тому її функціонування залежить від апаратних можливостей пристрою користувача та програмного середовища браузера.

Технічні вимоги.

Для коректної роботи системи необхідно:

- процесор рівня Intel Core i3 або вище;
- оперативна пам'ять не менше 4 ГБ (рекомендовано 8 ГБ);
- відеокарта з підтримкою технології WebGL;
- стабільне інтернет-з'єднання для завантаження 3D-моделей та ресурсів;
- роздільна здатність екрану не нижче 1366×768.

Особливо важливою є підтримка WebGL, оскільки саме ця технологія забезпечує відображення тривимірної графіки у браузері з використанням апаратного прискорення.

Програмні вимоги.

Програмна частина системи не потребує встановлення додаткового серверного програмного забезпечення та працює у клієнтському середовищі.

До програмних вимог належать:

- сучасний веб-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge або аналогічний);
- підтримка JavaScript ES6+;
- підтримка WebGL;
- операційна система Windows, Linux або macOS.

З точки зору архітектури відкритих систем (OSI), програмне забезпечення системи можна умовно поділити на такі рівні:

- Прикладний рівень — веб-додаток, реалізований на React з інтеграцією Three.js;
- Рівень представлення даних — структуровані JSON-об'єкти, що описують аудиторії та поверхи;
- Системний рівень — веб-браузер та JavaScript-рушій;
- Рівень мережевого доступу — HTTP/HTTPS для завантаження ресурсів (моделей, текстур, конфігурацій).

Оскільки система не використовує централізовану базу даних, усі дані зберігаються у вигляді локальних структур JavaScript, що забезпечує швидкий доступ та просту інтеграцію з компонентами інтерфейсу.

3.3 Опис програмної реалізації

Програмна реалізація веб-додатка інтерактивної 3D-навігаційної системи базується на компонентній архітектурі React із використанням бібліотек Three.js та @react-three/fiber для побудови тривимірного середовища. Такий підхід дозволяє поєднати інтерфейс користувача та 3D-візуалізацію в межах єдиної клієнтської системи та забезпечує їх синхронну взаємодію.

Архітектура додатка побудована як набір незалежних React-компонентів, кожен з яких відповідає за окрему функціональну частину системи: відображення інтерфейсу, управління 3D-сценою, обробку подій користувача та відображення інформаційних даних.

Стан додатку реалізовано за допомогою React hooks (useState, useEffect), що дозволяє динамічно керувати взаємодією між компонентами без перезавантаження сторінки. Передача даних між UI та 3D-сценою здійснюється через props та глобальні стани компонентів.

3.3.1 Функціональні можливості веб-додатка

Розроблений у межах практики веб-додаток являє собою інтерактивну інформаційно-навігаційну систему, основною метою якої є забезпечення зручної

просторової орієнтації користувачів у межах основного корпусу університету. Ключовою особливістю реалізованого рішення є двостороння взаємодія між користувачем та 3D-моделлю, що дозволяє інтуїтивно орієнтуватися у просторі корпусу.

Функціональна логіка системи побудована на принципі синхронізації: при виборі конкретної аудиторії через список у боковому меню або за допомогою рядка пошуку, відповідний об'єкт на тривимірній моделі автоматично підсвічується. Це допомагає користувачу миттєво ідентифікувати місце розташування кабінету. Працює і зворотний зв'язок: при натисканні безпосередньо на приміщення всередині 3D-моделі система автоматично відкриває бокову панель із детальною інформацією. Важливою частиною візуалізації є інтеграція реальних фотографій аудиторій та адміністративних кабінетів, які відображаються у картці об'єкта. Такий підхід дозволяє користувачу не лише знайти потрібне місце на схемі, а й заздалегідь ознайомитися з його виглядом «вживу».

Окрему увагу я приділила зручності навігації між поверхами. Оскільки корпус має кілька рівнів, у додатку можна легко перемикатися між ними: при натисканні на кнопку першого або другого поверху система одразу змінює 3D-модель на екрані. Це дозволяє роздивитися планування кожного рівня окремо, не захаращуючи сцену зайвими деталями. Для швидкої орієнтації в списку приміщень я додала фільтрацію за категоріями (наприклад, навчальні аудиторії чи кабінети адміністрації) та зручний пошук. Тепер користувачу достатньо ввести номер аудиторії або назву кафедри, щоб за лічені секунди знайти потрібне місце на карті, навіть якщо він вперше знаходиться в університеті.

Додатково реалізовано функціонал побудови маршруту між обраними точками у межах корпусу. Користувач може задати початкову та кінцеву локацію, після чого система автоматично формує оптимальний шлях та відображає його безпосередньо на 3D-моделі. Маршрут візуалізується у вигляді лінії в просторі, що дозволяє швидко зорієнтуватися та обрати найзручніший шлях переміщення між приміщеннями.

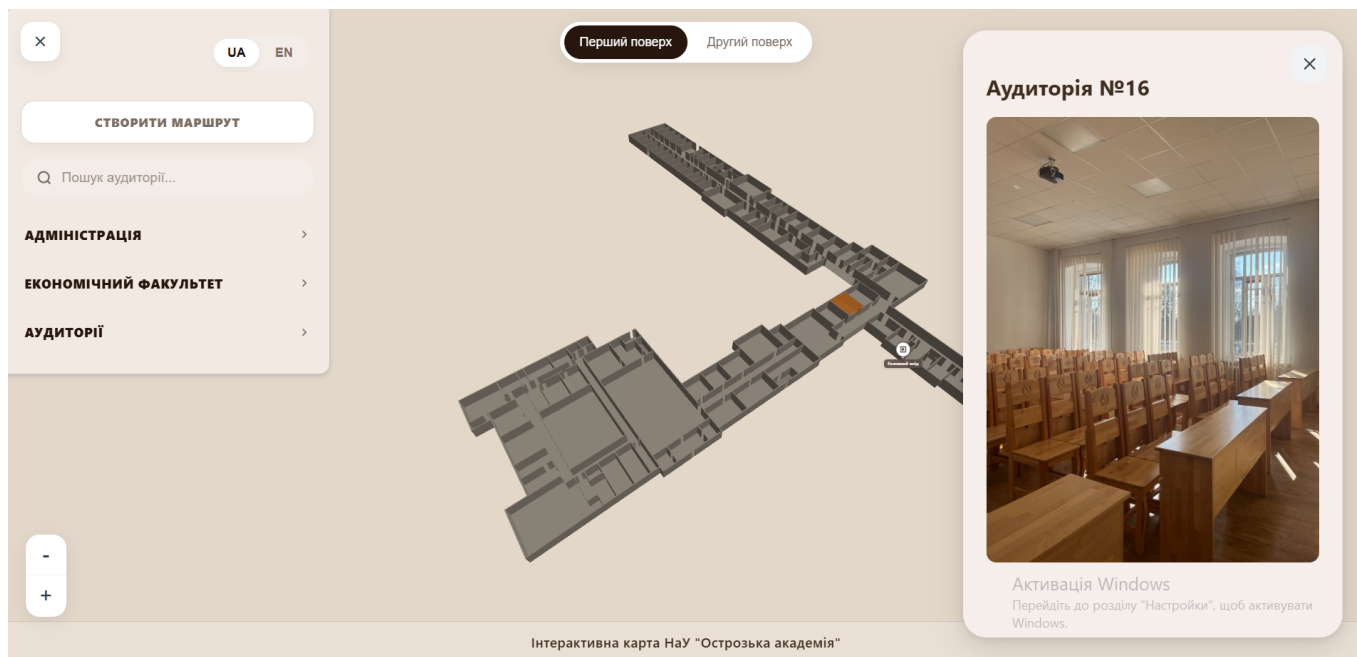


Рис. 3.1. - Загальний вигляд інтерфейсу веб-додатка

Джерело: створено автором

3.3.2 Реалізація тривимірної сцени

Центральним елементом розробленого веб-додатка є тривимірна сцена, яка забезпечує візуалізацію моделі основного корпусу університету. Реалізація сцени виконана із використанням бібліотеки Three.js та її інтеграційного шару @react-three/fiber, що дозволяє органічно поєднати декларативну модель React із рендерингом WebGL-графіки. Такий підхід забезпечує ефективне управління станами сцени та спрощує процес взаємодії між графічними об'єктами та логікою додатка.

У процесі розробки було імпортовано тривимірну модель будівлі у форматі GLTF/GLB, що є сучасним стандартом для веб-візуалізації. Даний формат дозволяє зберігати високу деталізацію геометрії при відносно малому розмірі файлів, що позитивно впливає на швидкість завантаження та загальну продуктивність системи. Модель була структурована відповідно до логіки взаємодії, де кожна аудиторія представлена окремим об'єктом сцени, що дозволяє динамічно керувати її властивостями.

Модель не є статичною — вона розбита на окремі об'єкти (аудиторії). Це дозволяє програмі "впізнавати" кожен кабінет окремо та змінювати його колір при виборі. Сцена повністю інтерактивна: користувач може вільно обертати модель, наближати її для огляду деталей або віддаляти, щоб побачити весь поверх.

Для забезпечення зручності орієнтації у багаторівневій структурі будівлі, тривимірний простір було розділено на окремі горизонтальні зрізи, кожен з яких відповідає конкретному поверху основного корпусу. Це дозволяє уникнути нагромадження графічних елементів і забезпечує чітке відображення внутрішнього планування. Приклад візуалізації геометрії, розташування кабінетів та коридорів першого рівня (поверху) додатка представлено на рисунку 3.2.

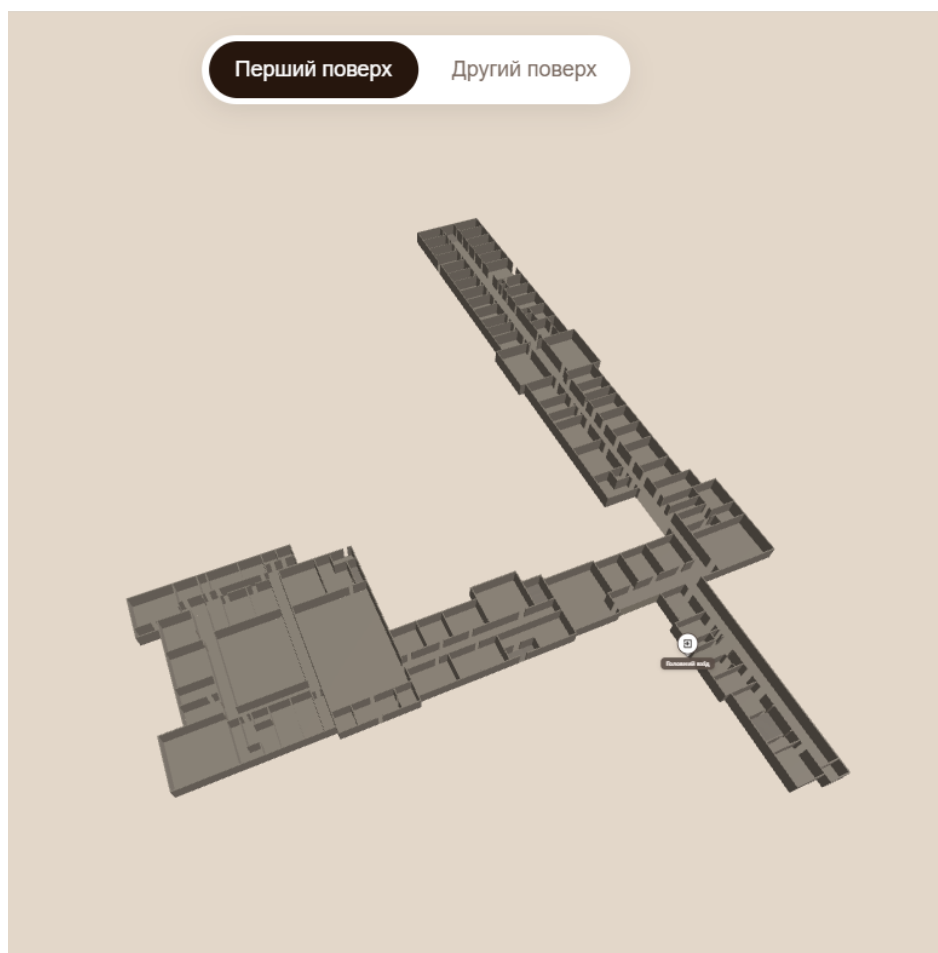


Рис. 3.2 - Інтерактивна 3D-модель першого поверху

Джерело: створено автором

При перемиканні користувачем інтерфейсу на наступний рівень, система динамічно приховує попередню геометрію та рендерить відповідні об'єкти вищого ярусу. На рисунку 3.3 продемонстровано тривимірну сцену другого поверху, де чітко

видно зміну контурів архітектурних зон, розташування адміністративних кабінетів та лекційних аудиторій університету.

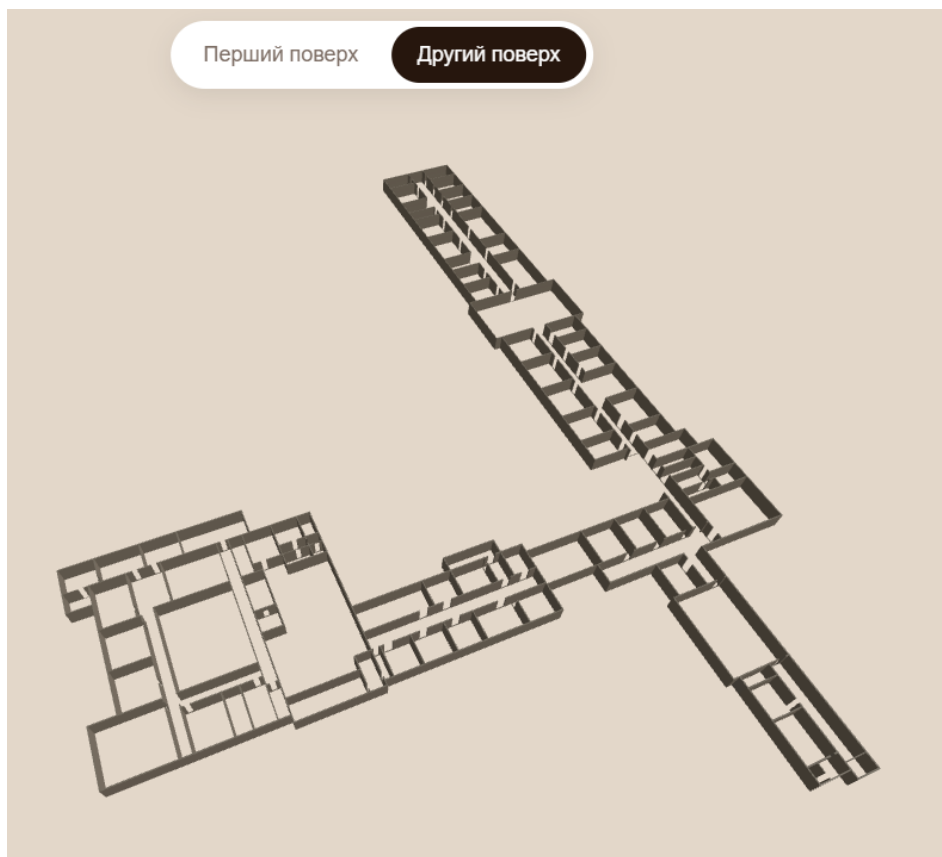


Рис. 3.3 - Інтерактивна 3D-модель другого поверху

Джерело: створено автором

Такий підхід до поповерхового рендерингу дозволяє суттєво знизити навантаження на графічний процесор (GPU) пристрою користувача, оскільки в один момент часу обробляються лише об'єкти активного поверху, що є важливим елементом оптимізації вебдодатка.

3.3.3 Система навігації та перемикання поверхів

Важливою частиною додатка є механізм перемикання між поверхами будівлі. Оскільки головний корпус має складне планування, було важливо дати користувачу можливість переглядати кожен рівень окремо. Це реалізовано за допомогою спеціальних кнопок в інтерфейсі, які керують відображенням 3D-моделей. При натисканні на кнопку першого або другого поверху додаток миттєво змінює активну модель на сцені. Такий підхід дозволяє детально розглянути потрібні кабінети, не

перевантажуючи екран стінами чи перекриттями іншого рівня, які могли б заважати огляду.

Окрім візуального перемикання, система навігації тісно пов'язана з боковим меню та пошуком. Коли користувач обирає поверх, список аудиторій у меню автоматично оновлюється, показуючи лише ті приміщення, що знаходяться на обраному рівні. Це допомагає уникнути плутанини та швидше знайти потрібний кабінет. Завдяки оптимізації моделей перехід між ними відбувається плавно, що забезпечує стабільну роботу додатка навіть на менш потужних пристроях.

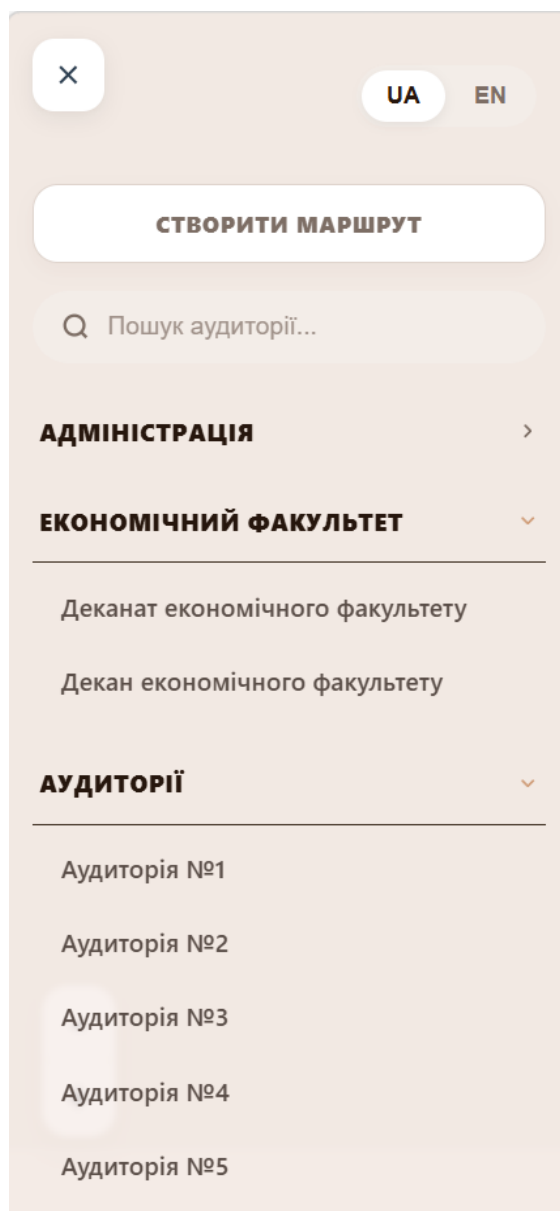


Рис. 3.4 - Інтерфейс вигляду панелі навігації

Джерело: створено автором

3.3.4 Реалізація бокової інформаційної панелі (Sidebar)

Бокова інформаційна панель виконує роль основного інформаційного модуля системи та забезпечує відображення детальних відомостей про вибрані приміщення. При активації аудиторії система автоматично оновлює вміст панелі, відображаючи зображення, назву та додаткову інформацію про приміщення. Такий механізм дозволяє поєднати візуальну навігацію з інформаційним наповненням.

Sidebar також виконує функцію керування взаємодією, оскільки відображає поточний стан системи та забезпечує користувачу зручний доступ до навігаційних елементів. Архітектурно панель реалізована як окремий React-компонент, що працює на основі глобального стану додатка.

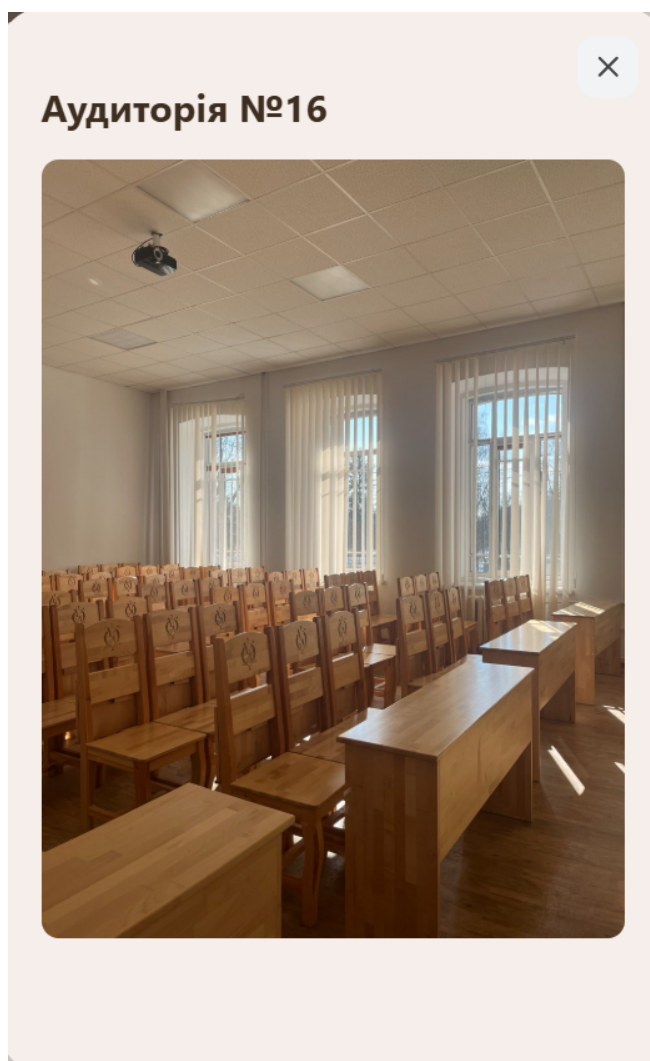


Рис. 3.5 - Відображення інформації про аудиторію у Sidebar

Джерело: створено автором

3.3.5 Система пошуку, підсвічування та маршрутизації об'єктів

Для підвищення зручності використання додатка було реалізовано механізм пошуку аудиторій. Даний функціонал дозволяє швидко знаходити приміщення без необхідності ручного перегляду повного списку. Пошукова система працює на основі фільтрації даних та динамічного оновлення інтерфейсу.

Результати пошуку інтегровані з тривимірною сценою, що забезпечує автоматичне підсвічування знайденого об'єкта. Такий підхід значно покращує користувацький досвід.

Окрім пошукового функціоналу, у систему інтегровано механізм маршрутизації між обраними точками (приміщеннями) типу «від точки А до точки Б». Даний функціонал дозволяє користувачу будувати оптимальний маршрут у межах корпусу університету та візуально відслідковувати його на тривимірній моделі.

Реалізація маршрутизації базується на представленні будівлі у вигляді графа, де вузлами виступають аудиторії, коридори або ключові точки навігації, а ребрами — можливі переходи між ними. Для пошуку шляху використовується алгоритм обходу в ширину (BFS), який дозволяє знайти найкоротший маршрут у незваженому графі. Вихідні та кінцеві точки маршруту задаються користувачем через інтерфейс (поля `routeFrom` та `routeTo`), після чого система автоматично обчислює послідовність вузлів, що утворюють маршрут.

Отриманий шлях передається у тривимірну сцену, де візуалізується у вигляді послідовно з'єднаних сегментів. Кожна ділянка маршруту відображається як окремий елемент сцени, що дозволяє користувачу чітко бачити напрям руху всередині будівлі. Візуалізація виконується динамічно: при зміні початкової або кінцевої точки маршрут автоматично перебудовується без перезавантаження сцени.

Таким чином, поєднання пошуку та маршрутизації забезпечує не лише швидке знаходження приміщень, але й повноцінну навігацію всередині будівлі з наочним відображенням шляху на 3D-моделі.

3.3.6 Реалізація мультимовності

Підтримка мультимовності реалізована за допомогою бібліотеки i18next, яка дозволяє динамічно змінювати мову інтерфейсу без перезавантаження сторінки. Усі текстові елементи інтерфейсу винесені у словники перекладів, що забезпечує централізоване керування мовними ресурсами. Перемикання мови автоматично оновлює всі компоненти інтерфейсу, включаючи меню, підписи та інформаційні панелі.

3.3.7 Адаптивна верстка та мобільна оптимізація

У процесі розробки веб-додатка було реалізовано адаптивну верстку інтерфейсу, що забезпечує коректне відображення та функціонування системи на пристроях з різними розмірами екранів, включаючи смартфони, планшети та настільні комп'ютери.

Адаптивність реалізована за допомогою CSS media queries, які дозволяють змінювати структуру інтерфейсу залежно від ширини екрану пристрою. Це забезпечує зручність використання системи незалежно від платформи.

На мобільних пристроях (ширина екрану до 767px) інтерфейс зазнає наступних змін:

- бокове меню (burger-menu) розгортається на весь екран, що забезпечує зручну навігацію в умовах обмеженого простору;
- елементи управління (пошук, список аудиторій, акордеони) масштабуються та займають всю доступну ширину;
- інформаційна панель (sidebar) змінює своє розташування з правої частини екрана на нижню, займаючи до 70% висоти екрану та працюючи у форматі висувної панелі.

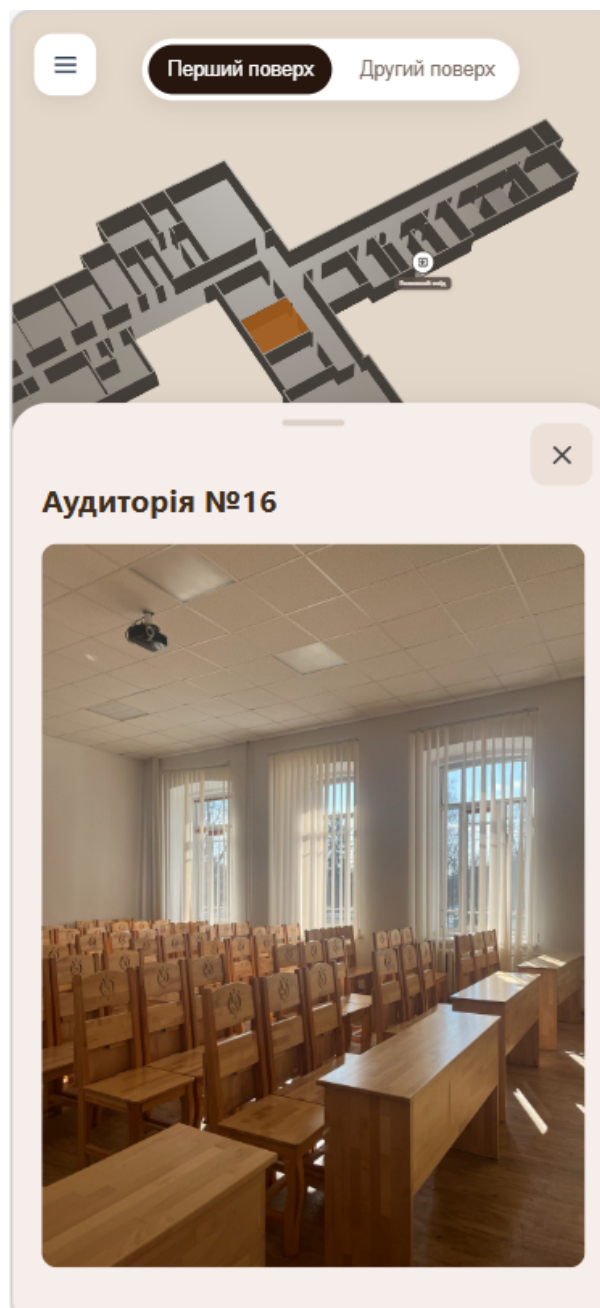


Рис. 3.6 - Адаптивне бургер-меню у мобільній версії веб-додатка

Джерело: створено автором

На планшетних пристроях (768px–1024px) інтерфейс адаптується шляхом збільшення розмірів елементів керування, шрифтів та відступів, що підвищує зручність взаємодії при використанні сенсорного введення.

Окрему увагу приділено покращенню UX-дизайну на мобільних пристроях. Зокрема:

- оптимізовано розміри кнопок для зручного натискання пальцем;
- збільшено розміри текстових полів введення;

- додано плавні анімації відкриття меню та інформаційної панелі;
- реалізовано візуальні індикатори активних елементів.

Таким чином, адаптивна верстка забезпечує коректну роботу веб-додатка в умовах різних пристроїв, зберігаючи повну функціональність системи, включаючи 3D-навігацію, пошук та інтерактивну взаємодію з об'єктами сцени.

3.4 Керівництво користувача

Для початку роботи з веб-додатком користувачу необхідно відкрити головну сторінку системи. Після завантаження відображається тривимірна модель корпусу університету та основні елементи керування, включаючи бокове меню та інформаційну панель.

Навігація по системі здійснюється за допомогою інтерфейсних елементів або безпосередньо через взаємодію з 3D-сценою. Користувач може обрати необхідну аудиторію через пошуковий рядок або список у боковому меню. Після вибору відповідний об'єкт автоматично підсвічується на 3D-моделі, а камера фокусується на ньому.

Перемикання між поверхами здійснюється за допомогою кнопок у навігаційній панелі. При виборі поверху відображається відповідна частина 3D-моделі, а інші рівні приховуються для покращення зручності перегляду.

У разі використання мобільних пристроїв інтерфейс адаптується: бокове меню відкривається на весь екран, а інформаційна панель відображається у нижній частині екрана у вигляді висувного блоку.

Окремо в системі реалізовано функцію побудови маршрутів між приміщеннями. Для цього користувачу необхідно обрати початкову та кінцеву точки у відповідному інтерфейсі (наприклад, через список аудиторій або пошук). Після підтвердження вибору система автоматично формує оптимальний маршрут у межах корпусу та відображає його безпосередньо на тривимірній моделі.

Маршрут візуалізується у вигляді послідовності з'єднаних ліній, що дозволяє користувачу наочно бачити шлях пересування між обраними об'єктами. У разі зміни

будь-якої з точок система одразу перебудовує маршрут без перезавантаження сторінки, що забезпечує зручну та інтерактивну навігацію.

Висновки до розділу

У ході виконання розділу було описано програмне та технічне забезпечення веб-додатка інтерактивної 3D-навігаційної системи корпусом університету. Розглянуто основні технології, які були використані для реалізації проєкту, зокрема React, Three.js та @react-three/fiber, що забезпечили побудову сучасного інтерактивного інтерфейсу з підтримкою тривимірної графіки.

Також було визначено вимоги до технічного та програмного забезпечення, необхідні для коректної роботи системи. З'ясовано, що ключовим фактором є підтримка технології WebGL, яка забезпечує відображення 3D-сцени у браузері.

У розділі детально описано програмну реалізацію системи, включаючи компонентну архітектуру додатка, організацію взаємодії між інтерфейсом користувача та тривимірною сценою, а також механізми обробки подій і керування станом застосунку. Окрему увагу приділено реалізації основних функціональних модулів: 3D-сцени, навігації між поверхами, бокової інформаційної панелі, системи пошуку та підсвічування об'єктів, мультимовності та адаптивної верстки та маршрутизації між об'єктами з візуалізацією шляху в 3D-сцені.

Особливо важливим результатом є реалізація адаптивного інтерфейсу, який забезпечує коректну роботу веб-додатка на різних типах пристроїв. Було досягнуто оптимального відображення елементів інтерфейсу на смартфонах, планшетах і комп'ютерах, що підвищує зручність користування системою та розширює її доступність.

Таким чином, розроблений програмний комплекс є функціонально завершеним веб-додатком, який поєднує інтерактивну 3D-візуалізацію, зручну навігацію та адаптивний інтерфейс, забезпечуючи ефективну інформаційну підтримку користувача.

ВИСНОВОК

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було спроектовано та реалізовано кросплатформовий вебдодаток інтерактивної 3D-навігаційної системи для основного корпусу університету. Основною метою роботи було створення сучасного, високопродуктивного інструменту для візуальної навігації у межах навчального закладу з використанням передових технологій тривимірної графіки у вебпросторі. Дане рішення успішно поєднує в собі ергономічність сучасного користувацького інтерфейсу та високу інтерактивність 3D-середовища. Поставлена мета була повністю досягнута, а всі визначені у вступі теоретичні та практичні завдання — виконані в повному обсязі.

На етапі теоретичного дослідження було проведено комплексний аналіз сучасних підходів до розробки клієнтських вебдодатків із використанням 3D-візуалізації, а також технологій, що застосовуються для побудови інтерактивних інформаційних систем класу Indoor Navigation. Було детально розглянуто особливості роботи бібліотек React, Three.js та інтеграційного шару @react-three/fiber, які забезпечують ефективне поєднання декларативної моделі управління станом UI з імперативним рендерингом WebGL-графіки. Окрему увагу приділено принципам побудови адаптивних вебсистем, аналізу продуктивності рендерингу на графічних процесорах (GPU) та вимогам до сучасних інформаційно-навігаційних рішень в освітньому середовищі.

У практичній частині роботи було спроектовано архітектуру вебдодатка на основі компонентного підходу. Система була декомпонована на незалежні логічні модулі, кожен з яких відповідає за окрему функціональність: відображення та ініціалізацію 3D-сцени, керування камерою, інтерактивне навігаційне меню, пошук аудиторій, бокову інформаційну панель та механізми обробки подій користувача. Такий підхід дозволив забезпечити модульність системи, високу швидкість реагування інтерфейсу, спростити процес її тестування, технічної підтримки та подальшого масштабування.

Центральним елементом розробленого рішення стала тривимірна сцена, яка відображає модель корпусу університету. Було реалізовано інтерактивну взаємодію з об'єктами сцени: кожна аудиторія є окремим елементом, що дозволяє здійснювати її вибір, підсвічування та відображення додаткової інформації. Це забезпечує інтуїтивно зрозумілу навігацію для користувача.

Також було реалізовано ефективну систему поповерхової навігації будівлі, яка функціонує на основі динамічного керування видимістю об'єктів. Це дозволяє детально переглядати кожен рівень окремо без візуального перевантаження сцени зайвими архітектурними елементами. Додатково розроблено механізм швидкого пошуку та фільтрації аудиторій за назвами, кафедрами чи категоріями, інтегрований із тривимірною сценою для автоматичного фокусування камери та підсвічування знайдених об'єктів, що суттєво підвищує швидкість знаходження цільових локацій та дозволяє будувати маршрути між обраними точками з візуалізацією шляху у 3D-сцені.

Важливою складовою роботи стала реалізація інформаційної бокової панелі, яка відображає детальну інформацію про вибрані приміщення, включаючи текстові дані та візуальні матеріали. Це дозволяє користувачу не лише знаходити аудиторії, а й отримувати додаткову інформацію про них у зручному форматі.

Для розширення доступності додатка було впроваджено інструменти мультимовності на базі бібліотеки i18next, що дозволяє динамічно перемикати мовні локалізації (українську та англійську) без перезавантаження сторінки або втрати поточного стану сцени. Це робить систему універсальною та зручною для використання як вітчизняними студентами, так і іноземними гостями чи делегаціями.

Важливим результатом роботи є впровадження адаптивної верстки інтерфейсу. Було забезпечено коректне відображення системи на пристроях різних типів — від смартфонів до настільних комп'ютерів. На мобільних пристроях інтерфейс трансформується у зручну навігаційну систему з повноекранним меню та висувною інформаційною панеллю, а на планшетах і ПК зберігається розширений функціонал із оптимізованим розташуванням елементів.

Отримані результати підтверджують високу ефективність використання сучасних вебтехнологій для створення інтерактивних навігаційних систем із 3D-візуалізацією, що працюють безпосередньо у браузері без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Розроблений вебдодаток демонструє раціональність поєднання екосистеми React та графічних можливостей WebGL для побудови складних інтерактивних інтерфейсів у реальних освітніх інфраструктурах.

Практична цінність роботи полягає у створенні готового до впровадження функціонального програмного продукту, який може виконувати роль цифрового навігатора для студентів, викладачів, абітурієнтів та гостей Національного університету «Острозька академія». Спроектowana архітектура додатка є універсальною, а модель даних — гнучкою, що дозволяє легко адаптувати дане рішення для інших навчальних корпусів або інтегрувати його з існуючими цифровими сервісами університету.

Таким чином, у межах кваліфікаційної роботи було успішно вирішено інженерну задачу проектування та розробки сучасного інтерактивного вебдодатка, який повністю відповідає вимогам до бакалаврських робіт за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», а його функціонал та архітектурні рішення цілком задовольняють поставлену мету та завдання дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Babylon.js Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doc.babylonjs.com/> (дата звернення: 10.05.2026)
2. Three.js Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://threejs.org/docs/> (дата звернення: 10.05.2026)
3. What is WebGL and why use Three.js [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://threejs-journey.com/lessons/what-is-webgl-and-why-use-three-js#introduction> (дата звернення: 10.05.2026)
4. WebGL Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API (дата звернення: 09.05.2026)
5. Основи WebGL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://webglfundamentals.org/webgl/lessons/uk/> (дата звернення: 10.05.2026)
6. React [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.legacy.reactjs.org/> (дата звернення: 09.05.2026)
7. React Component [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://react.dev/reference/react/Component> (дата звернення: 10.05.2026)
8. React + Three.js [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mediusware.com/blog/details/integrating-threejs-with-react> (дата звернення: 11.05.2026)
9. How to Build Interactive 3D Apps [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://formidable.dev/blog/2021/react-three-fiber/> (дата звернення: 09.05.2026)
10. React-Three/Fiber [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://r3f.docs.pmnd.rs/getting-started/introduction?trk=public_post_comment-text (дата звернення: 11.05.2026)
11. React-Three/Drei [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.npmjs.com/package/@react-three/drei/v/9.0.1> (дата звернення: 11.05.2026)

12. React Hooks Reference (useState, useEffect, useRef) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://react.dev/reference/react/hooks> (дата звернения: 12.05.2026)
13. glTF 2.0 Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://registry.khronos.org/glTF/specs/2.0/glTF-2.0.html> (дата звернения: 01.05.2026)
14. React i18next [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://react.i18next.com/> (дата звернения: 10.05.2026)
15. Three.js Raycaster [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://threejs.org/docs/#api/en/core/Raycaster> (дата звернения: 12.05.2026)
16. MazeMap – Digital indoor maps for universities [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mazemap.com/> (дата звернения: 17.05.2026)
17. Matterport 3D Space Capture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matterport.com/> (дата звернения: 17.05.2026)