

Міністерство освіти і науки України

**Луцький національний технічний університет
Факультет цифрових, освітніх та соціальних технологій
Кафедра цифрових освітніх технологій**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНОГО
3D-ТУРУ КАФЕДРИ ЦИФРОВИХ ОСВІТНІХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

спеціальність 015.39 Професійна освіта (Цифрові технології)

освітня програма Професійна освіта (комп'ютерні технології)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПОМ-21
Чикеренда Анастасія Павлівна

(підпис)

Керівник:
к.пед.н., доцент
Кабак Віталій Васильович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2025 р.
д.пед.н., професор
гарант освітньої програми:
Гулай Ольга Іванівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет цифрових, освітніх та соціальних технологій
Кафедра цифрових освітніх технологій
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 01 Освіта/Педагогіка
Спеціальність: 015.39 Професійна освіта (Цифрові технології)
Освітня програма: Професійна освіта (комп'ютерні технології)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
цифрових освітніх технологій
_____ В. Кабак
«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Чикеренді Анастасії Павлівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка та дослідження віртуального 3D-туру кафедри цифрових освітніх технологій

керівник роботи: *к.пед.н., доцент Кабак Віталій Васильович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» лютого 2025 р. № 70/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: «05» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи веб-браузер з підтримкою HTML5 та WebGL, бібліотека Rapnellit v2.5.6, панорамні зображення кафедри у форматі PNG, вимоги до віртуального огляду приміщень кафедри для абітурієнтів та студентів, ергономічні вимоги до інтуїтивної навігації та візуального відображення 360° панорам.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Аналіз літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи магістра, виклад загальної проблеми і вибір напрямків дослідження; опис рішення загальної проблеми та основних методів дослідження.

5. Перелік графічного матеріалу: 49 рисунків, 13 таблиць, 1 додаток.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «06» грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Провести огляд літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>до 30.08.25</i>	
2	<i>Провести аналіз загальної проблеми і вибір напрямків дослідження</i>	<i>до 09.09.25</i>	
3	<i>Розробити функціональну схему роботи програмного продукту</i>	<i>до 17.09.25</i>	
4	<i>Описати засоби розробки об'єкта проектування</i>	<i>до 30.09.25</i>	
5	<i>Описати роботу об'єкта проектування</i>	<i>до 16.10.25</i>	
6	<i>Розробити методику для проведення експерименту</i>	<i>до 23.10.25</i>	
7	<i>Провести аналіз результатів експерименту</i>	<i>до 21.11.25</i>	
8	<i>Здача чистового варіанту кваліфікаційної роботи магістра на кафедрі</i>	<i>до 06.12.25</i>	

Здобувач вищої освіти

_____ Чикеренда А.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Кабак В.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чикеренда А.П. Розробка та дослідження віртуального 3D-туру кафедри цифрових освітніх технологій. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Професійна освіта (комп'ютерні технології)» спеціальності 015.39 Професійна освіта (Цифрові технології). Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаної літератури та 1 додатку.

У роботі було проведено роботу, направлену на дослідження питання розробки та впровадження інтерактивного віртуального 3D туру для візуального представлення освітнього простору кафедри. В першому розділі зроблено огляд джерел з теми створення віртуальних панорамних турів та 3D технологій, які використовуються для їх розробки. У другому розділі було проведено аналіз технологій проектування віртуальних турів та розроблено функціональну схему переходів між локаціями та створення організації тригерів та маркерів переходів між локаціями університету. Також в другому розділі було описано засоби розробки програмного забезпечення та методи підключення бібліотеки Pannellum до проєкту. У третьому розділі розписано методику експериментальної оцінки ефективності віртуального туру, яка допомагає створити метрики для оцінки зручності використання та ефективності представлення інформації у вигляді 3D панорамного туру. У четвертому розділі описуються результати експериментального дослідження функціональності 3D-туру та проведено обробку та аналіз отриманих даних, щодо ефективності та зручності навігації по 3D панорамному туру.

Ключові слова: *віртуальний 3D-тур, панорамні технології, Pannellum, освітній простір, веб-технології, інтерактивна навігація, цифрові освітні технології.*

ANNOTATION

Chykerenda A.P. Development and research of a virtual 3D tour of the Department of Digital Educational Technologies. Manuscript.

The master's qualification work of educational program «Vocational Education (Computer Technologies)» of the specialty 015.39 Vocational Education (Digital Technologies). Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The master's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references, and one appendix.

The research is focused on the development and implementation of an interactive virtual 3D tour for the visual presentation of the educational space of the department. The first chapter provides a review of scientific sources on the creation of virtual panoramic tours and 3D technologies used for their development. The second chapter analyzes technologies for designing virtual tours and presents a functional scheme of transitions between locations, as well as the organization of triggers and markers for navigation between university locations. Additionally, this chapter describes the software development tools and methods for integrating the Pannellum library into the project. The third chapter outlines the methodology for the experimental evaluation of the virtual tour's effectiveness, which enables the creation of metrics for assessing usability and the effectiveness of information presentation in the form of a 3D panoramic tour. The fourth chapter presents the results of the experimental study of the 3D tour's functionality and provides processing and analysis of the obtained data regarding the efficiency and usability of navigation within the 3D panoramic tour.

Keywords: *virtual 3D tour, panoramic technologies, Pannellum, educational space, web technologies, interactive navigation, digital educational technologies.*

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ, ВИКЛАД ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ І ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Огляд і аналіз предметної області проблеми та шляхи її розв’язання	10
1.2 Огляд і аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень використання 3D-технологій.....	20
1.3 Огляд літературних джерел з теорії та методики створення віртуальних панорамних турів.....	26
Розділ 2 ОПИС РІШЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	29
2.1 Технологічні аспекти проектування 3D-турів для освітніх закладів.....	29
2.2 Аналіз сучасного стану розвитку систем віртуальної навігації та панорамних технологій.....	37
2.3 Розробка функціональної схеми роботи об’єкта проектування	40
2.4 Опис засобів розробки та програмного забезпечення об’єкта проектування	43
2.5 Опис програмного та апаратного середовища функціонування віртуального туру	47
Розділ 3 МЕТОДИКА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	50
3.1 Методологічні особливості впровадження віртуальних 3D-турів у процес підготовки здобувачів вищої освіти	50
3.2 Методичні вимоги до проектування інтерактивних віртуальних турів освітніх просторів	54
3.3 Методика проведення експериментальної оцінки ефективності віртуального 3D-туру кафедри цифрових освітніх технологій	56
Розділ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБРОБКА, АНАЛІЗ І СПІВСТАВЛЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	60
4.1 Зміст та організація експериментального дослідження	60
4.2 Обробка результатів дослідження	65
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	77

ВСТУП

Розвиток цифрових технологій змінює уявлення про підходи візуалізації приміщень, локацій та об'єктів. Інформація на сьогоднішній день може бути представлена у неймовірних виглядах. Проста текстова, графічна чи, навіть, відео інформація про локацію вже не є сучасним методом подання інформації. На сьогоднішній день створюються віртуальні тури по локаціях, сцена доповненої та віртуальної реальності. Технології 3D панорамного представлення локацій чи обробка локації за допомогою окулярів доповненої реальності допомагають змінити підхід до подання інформації.

Віртуальні тури стають ефективними інструментами для візуалізації простору. В даному випадку вирішується питання візуальної демонстрації переваг університетського простору, яке може демонструватися майбутнім абітурієнтам закладу освіти.

Особливо актуальним це питання є на сьогоднішній день, коли в Україні іде повномасштабна війна, коли діти бояться зайвий раз вирушати до нового міста, щоб ознайомитися із закладом освіти. Цей проєкт стає особливо актуальним для абітурієнтів, студентів та їх батьків, які хочуть дізнатися більше про заклад освіти дистанційно. Віртуальний 3D тур дозволяє у будь-який час відкрити браузер та детально походити по всім закуточкам університету, оглянути приміщення, побачити весь потенціал закладу, який складно висловити в текстовому форматі.

Створення інтерактивного віртуального туру кафедри цифрових освітніх технологій є значущим кроком у цифровій трансформації освітнього середовища. Такий тур може виконувати функції інформаційного гіда, забезпечувати наочне представлення матеріальної бази та сприяти формуванню позитивного іміджу закладу. Таким чином, актуальність дослідження полягає в необхідності створення інноваційного інструменту візуалізації освітнього простору, що забезпечуватиме доступне, зручне та ефективне представлення інфраструктури кафедри для широкого кола користувачів.

Віртуальний 3D-тур також сприяє підвищенню залученості користувачів, адже дозволяє самостійно досліджувати простір, зупинитися на цікавих деталях та повертатися до потрібних локацій у будь-який час. Такий підхід робить процес ознайомлення більш інтерактивним та цікавим, порівняно зі статичними фотографіями чи відео.

Крім того, створення віртуального туру дозволяє зберегти актуальний стан приміщень та обладнання, що особливо важливо для планування ремонтів, оновлення матеріально-технічної бази або організації заходів. Тур може слугувати не лише для абітурієнтів, а й для співробітників та адміністрації університету як зручний інструмент внутрішньої комунікації та контролю.

Впровадження таких технологій у навчальний процес також відкриває нові можливості для дистанційного навчання та проведення онлайн-заходів. Студенти можуть попередньо ознайомитися з аудиторіями, лабораторіями та бібліотекою, що сприяє більш комфортній адаптації та плануванню власного навчального процесу. Це підвищує ефективність використання університетського простору та покращує загальний досвід користувачів.

Метою магістерської роботи є розробка та дослідження віртуального 3D-туру кафедри цифрових освітніх технологій.

Об'єктом дослідження є процес візуалізації освітнього простору закладу вищої освіти з використанням веб-технологій та панорамних зображень.

Предметом дослідження є особливості розробки, впровадження та функціонування віртуального 3D-туру як інструменту представлення інфраструктури кафедри.

Основними завданнями, які необхідно вирішити є:

- проаналізувати наукові, теоретичні та практичні джерела за напрямком створення віртуальних панорамних турів;
- розглянути та оцінити сучасні технології проектування 3D-турів та бібліотеки для їх реалізації;
- визначити функціональні можливості та архітектуру навігації віртуального туру;

- розробити прототип 3D-туру з використанням бібліотеки Pannellum;
- провести експериментальну оцінку зручності та ефективності розробленого туру;
- проаналізувати результати експерименту та сформулювати рекомендації щодо вдосконалення.

Актуальність цього дослідження обумовлена важливістю дізнатися більше про університет та його локації абітурієнтам та майбутнім студентам закладу освіти.

Для проведення дослідницької роботи було використано такі методи: *теоретичні*: аналіз наукових джерел за темою магістерської роботи; порівняльний аналіз сучасних бібліотек та інструментів для створення панорамних турів; *емпіричні*: проведення тестування юзабіліті з користувачами; спостереження за ефективністю навігації у віртуальному турі; аналіз та обробка відгуків користувачів.

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було використано інструмент штучного інтелекту ChatGPT-5 для систематизації літературних джерел, розробки дизайну дослідження, редагування тексту. Усі отримані результати були перевірені на достовірність та відповідність академічної доброчесності.

Новизна магістерської роботи полягає в розробці комплексного рішення для інтерактивної навігації освітнім простором з використанням сучасних веб-технологій та адаптивних інтерфейсів.

Практичне значення полягає у створенні доступного інструменту, який може використовуватись для популяризації кафедри, інформування абітурієнтів та забезпечення дистанційного ознайомлення з матеріально-технічною базою закладу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ, ВИКЛАД ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ І ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд і аналіз предметної області проблеми та шляхи її розв'язання

Не завжди зручно і безпечно на сьогоднішній день вирушати в інше місце для ознайомлення із локацією та оглядом закладу вищої освіти. Фізично може бути далеко їхати для ознайомлення з локацією, чи просто небезпечно через обстріли. Створення 3D понаромного віртуального туру вирішує це питання і проблему. Такі тури на сьогоднішній день є засобом збереження зв'язку із цільовою аудиторією закладу.

Використання технологій, які дозволяють реалізувати віртуальний 3D панорманий тур по локаціях університету дозволяють показати, що заклад освіти прагне використовувати сучасні цифрові технології та може надавати якісне дистанційне навчання, раз реалізував дистанційну прогулянку по кафедрам та лекційним залам. Тобто впровадження цифрових технологій в представлення інформації про заклад освіти може привернути увагу більш широкої географічної аудиторії людей, які потенційно можуть бути майбутніми студентами.

Віртуальні 3D тури [19] представляють собою інтерактивну модель, яка відображає реальну локацію в панорманому режимі. Цю локацію користувач може оглядати за допомогою обертання в турі, може дивитися навколо себе, підіймати чи опускати камеру та взаємодіяти із інтерактивними об'єктами. Такі 3D панорамні тури дозволяють створювати ефект присутності та досліджувати простір без фізичного відвідування.

Основою такого 3D панорамного туру є набір якісних панорамних зображень, які робляться безпосередньо на локації, яка буде представлена у вигляді 3D панорамного туру. Ці панорамні знімки покривають сферу огляду навколо користувача і дозволяють користувачу обертати камеру навколо себе.

Крім статичних панорам, сучасні тури можуть включати інтерактивні елементи, такі як кнопки, підказки, посилання на додаткову інформацію та мультимедійний контент. Це робить тур не лише візуально привабливим, а й функціонально корисним.

Окрім створення віртуального туру на основі панорамних знімків, сьогодні створюють віртуальні сцени з використанням 3D моделей, які розташовуються на локаціях. Тобто раніше для створення 3D туру використовувалися лише фото та статичні зображення, а зараз ще застосовуються 3D-моделі, доповнена реальність та інтерактивні веб-бібліотеки. Також існують технології сканування простору камерою Matterport. Така технологія забезпечує максимальну точність деталей і реалістичність візуалізації, проте потребує більших фінансових витрат [20].

Загалом, 3D тур представляє собою ефективний маркетинговий інструмент, який дозволяє залучити нових клієнтів, привернути до себе інтерес, збільшити увагу в медійному та учбовому середовищі.

Для наочного розуміння використання такого підходу були оглянуті сайти провідних світових університетів. Дослідження в цьому напрямку показали, що використовуються різні технології представлення інформації про університет. Наприклад, Стенфордський університет використовує Google Street View для демонстрації свого кампусу площею понад 3000 гектарів. Це не повноцінний 3D-тур, а інтерактивна карта, по якій можна клікати та переглядати фотографії різних локацій. Такий формат дозволяє потенційним студентам дистанційно ознайомитися з інфраструктурою та просторами університету, візуально оцінити розташування корпусів, бібліотек та лабораторій [42].

Хоча це не дає ефекту повного занурення, як у 3D-турі, інтерактивна карта залучає користувачів через можливість самостійно обирати маршрут та переглядати цікаві місця. Такий підхід також сприяє розвитку просторового мислення та кращому розумінню структури кампусу.

В освітньому середовищі подібні інтерактивні інструменти допомагають студентам краще орієнтуватися у навчальному процесі, планувати відвідування лабораторій та аудиторій, а також підвищують інтерес до навчання через інтерактивність (рис. 1.1).

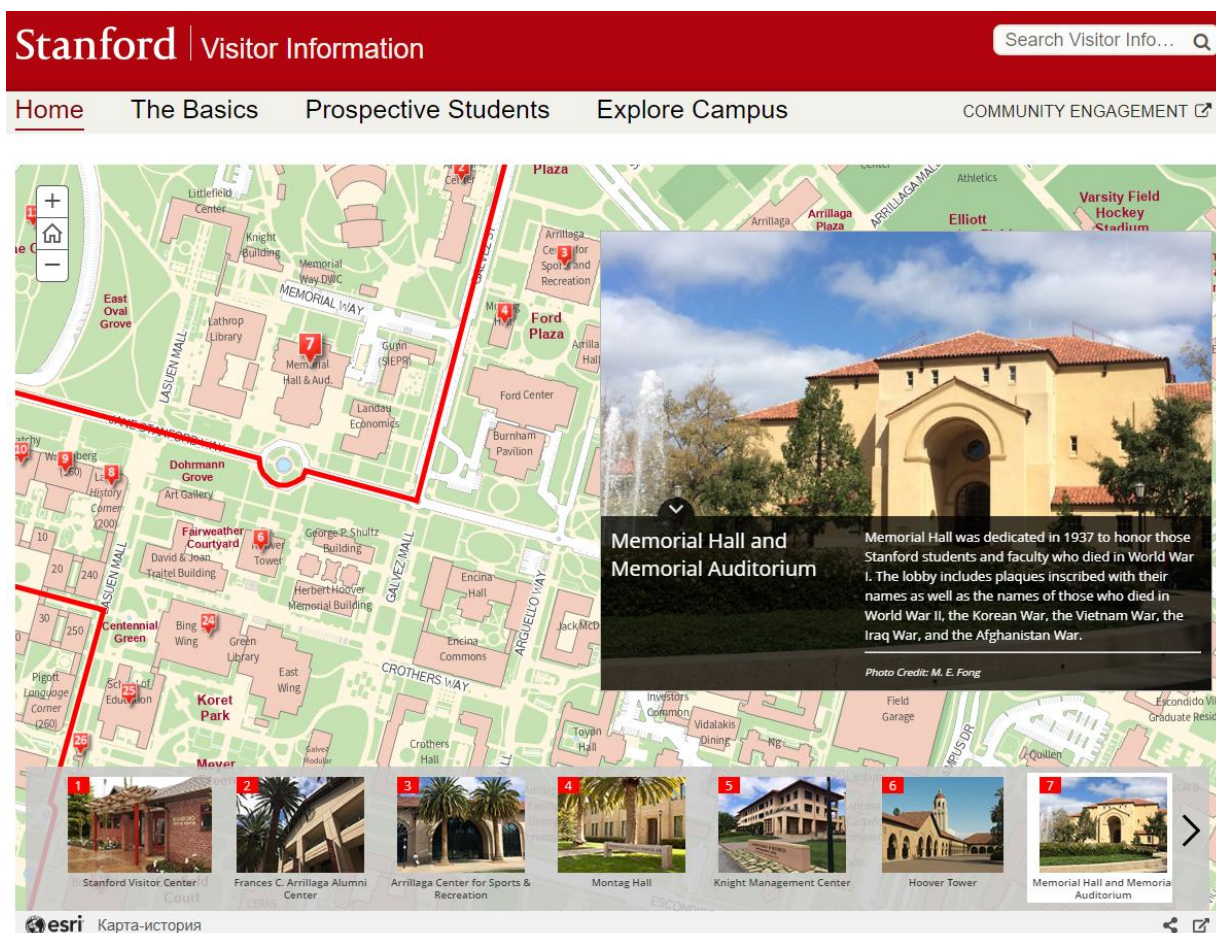


Рисунок 1.1 – Інтерактивний тур на сайті Стендфортського університету

Массачусетський технологічний університет представляє свій віртуальний тур у вигляді схеми локацій [10]. На цій схемі користувач бачить розташування корпусів, зон навчання та адміністративних будівель і може обирати окремі точки для перегляду фотографій чи коротких описів. Такий

формат є значно простішим у реалізації порівняно з повноцінним 3D панорамним туром, адже не потребує створення сферичних панорам та інтеграції додаткових елементів навігації (рис. 1.2).

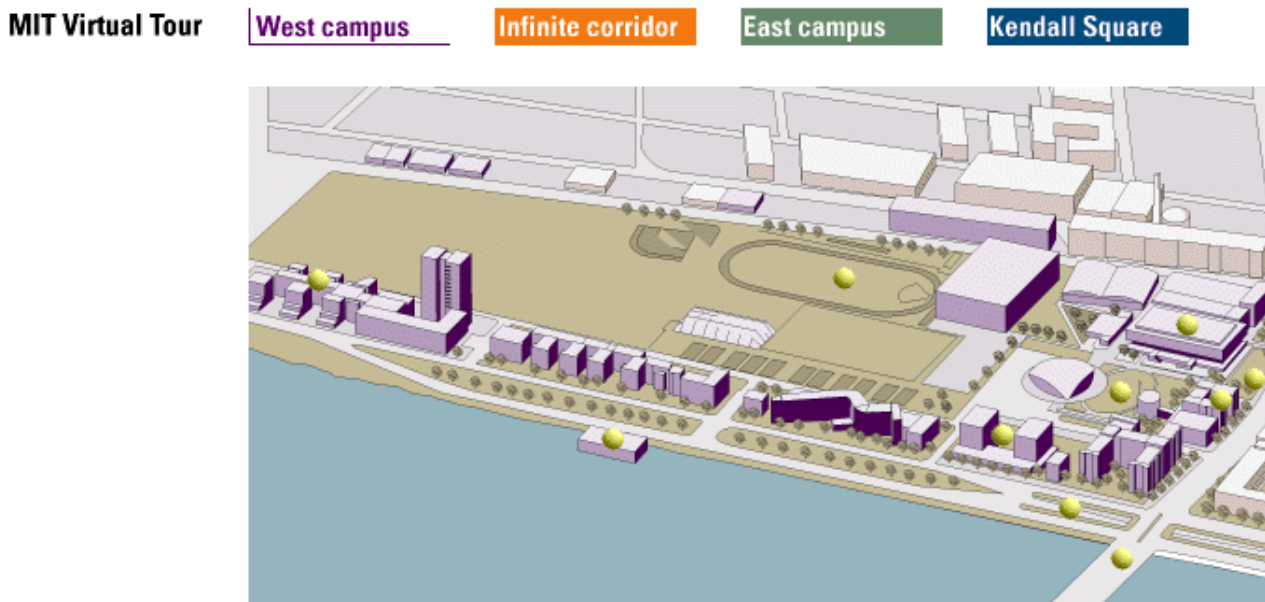


Рисунок 1.2 – Віртуальний тур на сайті Массачусетського технологічний університет

Попри наочність, інтерактивна карта MIT обмежує користувача у свободі пересування та огляду простору. Користувач не може «прогулятися» кампусом у повному обсязі, побачити приміщення з різних ракурсів чи взаємодіяти з елементами інтер'єру. Це зменшує ефект занурення та впливає на сприйняття простору.

Тому реалізація віртуального 3D-туру кафедри цифрових освітніх технологій нашого університету дозволить значно підвищити інтерактивність та ефективність подання інформації. Користувачі зможуть вільно оглядати всі приміщення, пересуватися між локаціями, отримувати мультимедійні підказки та коментарі, що робить тур набагато більш наочним та інформативним.

Таким чином, після реалізації даного дипломного проекту наш університет буде попереду MIT за рівнем інтерактивності та залученості користувачів у процес ознайомлення з освітнім простором. Це дозволить

створити сучасний інструмент, який не лише демонструє інфраструктуру, а й сприяє формуванню позитивного іміджу університету серед абітурієнтів та відвідувачів.

Харківський національний університет радіоелектроніки, який безпосередньо займається підготовкою інженерів з комп'ютерних технологій, на своєму сайті має лише посилання на 3D тур [3], зроблений компанією Google. За допомогою цього туру можна пройти по основним локаціям та аудиторіям закладу освіти (рис. 1.3).

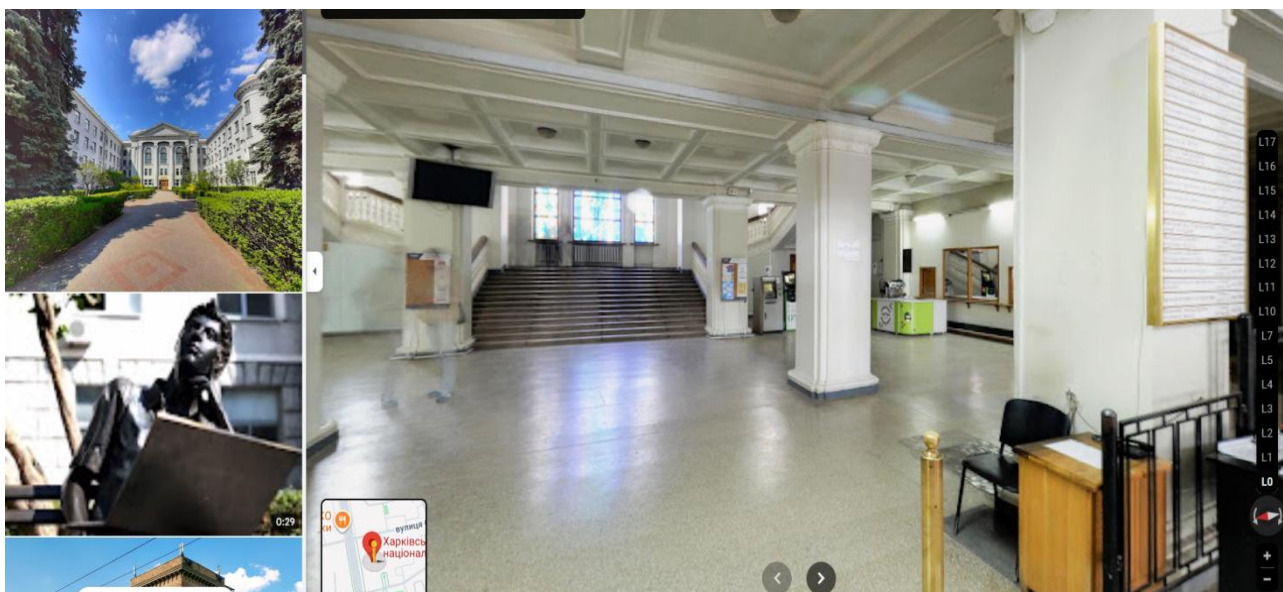


Рисунок 1.3 – Віртуальний тур по Харківському національному університету радіоелектроніки

Аналіз віртуального туру ХНУРЕ показує, що він реалізований за стандартною технологією Google Street View, яка забезпечує базову функціональність панорамного перегляду. Тур охоплює холи, коридори, лекційні аудиторії та лабораторії університету, проте має обмежену інтерактивність. Навігація здійснюється виключно через стандартні засоби Google Maps, без можливості додавання власних інформаційних маркерів, текстових підказок чи мультимедійного контенту про конкретні приміщення.

Перевагою використання Google-платформи є швидкість розгортання та безкоштовність сервісу, однак це рішення має суттєві обмеження: відсутність

контролю над дизайном інтерфейсу, неможливість інтеграції додаткових функцій, а також залежність від зовнішньої платформи. Крім того, тур не адаптований під специфічні потреби освітнього закладу та не містить брендіваних елементів університету.

Огляд 3D туру Київського політехнічного університету імені Ігоря Сікорського [9] показав, що на сайті університету доступний для використання віртуальний 3D тур по університету, по якому можна пересуватися по локаціях, включати навігаційну карту для переходу між локаціями, оглядати локації на 360 градусів. Це власна розробка університету. Вона побудована не на Google картах (рис. 1.4)

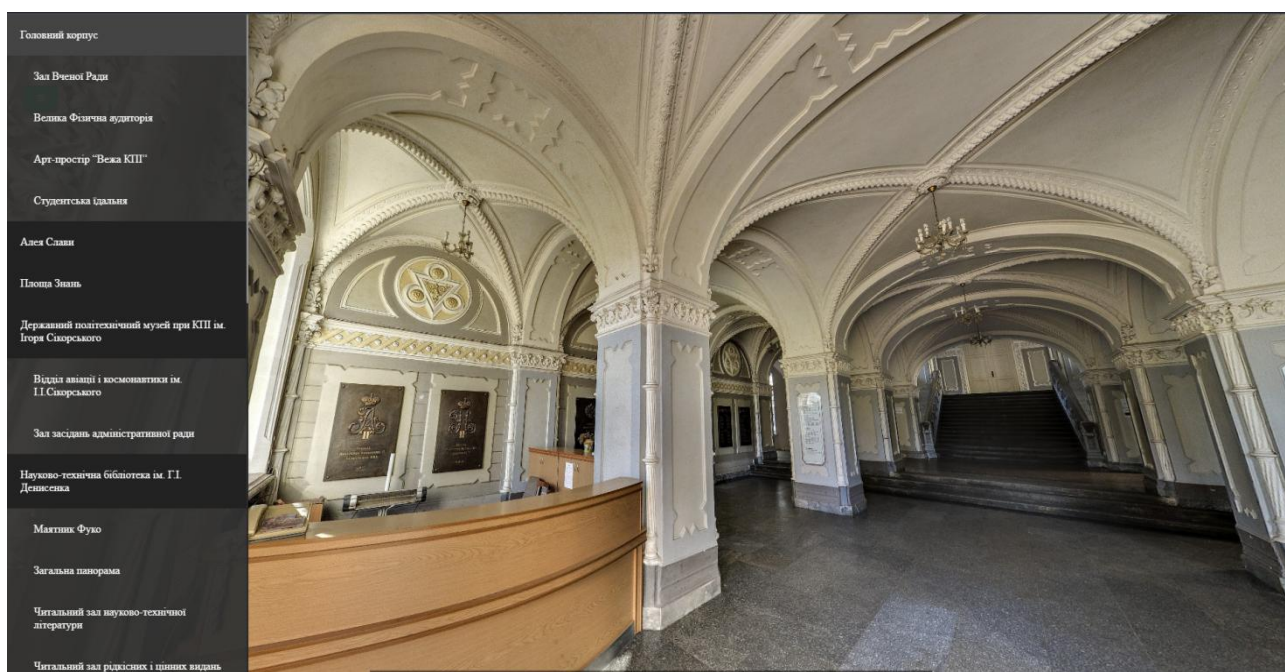


Рисунок 1.4 – Віртуальний тур по Київському політехнічному університету імені Ігоря Сікорського

Користувач може пересуватися між цими локаціями за допомогою спеціальних точок переходу. Також є навігаційна карта, на якій показані всі доступні місця університету, і можна швидко перейти до будь-якої з них, натиснувши на потрібне місце. Усі приміщення можна оглядати на 360

градусів, тобто обертати картинку вліво, вправо, вверх і вниз, детально роздивляючись інтер'єр, обладнання та розташування меблів.

Важливо, що цей 3D-тур розроблений самостійно університетом і не використовує Google Maps або інші сторонні сервіси. Це означає, що всі панорами, точки переходу і навігаційна карта створені спеціально для цього туру. Такий підхід дозволяє зробити тур більш гнучким і зручним для користувачів, а також показати унікальні особливості університету.

Віртуальний тур може стати корисним для майбутніх студентів, їхніх батьків та гостей університету, які хочуть ознайомитися з його приміщеннями ще до відвідування. Крім того, такий тур допомагає студентам і викладачам швидше орієнтуватися на території університету.

Загалом, на сьогоднішній день існує багато технологій та технологічних стеків для створення 3D туру для закладу освіти. Варто зазначити, що віртуальний тур є рекламним інструментом, який показує клієнтові особливості та переваги більш наочно, ніж це зробили б з використанням відео чи графіки [6]. Для створення панорамного 3D-туру часто використовують бібліотеку Pannellum, яка дозволяє інтегрувати сферичні панорами на веб-сайти та додавати точки переходу і інформаційні підказки.

Pannellum це бібліотека [37] на JavaScript, яка дозволяє створювати панорамні 360° тури для веб-сайтів. Вона працює через WebGL, що дозволяє показувати панорами прямо у браузері. Pannellum підтримує кілька форматів панорам [41]:

- Equirectangular – найпростіший формат, потрібне тільки одне зображення.
- Cube map – шість зображень, які складають куб для більш високої якості.
- Multires – багаторівнева структура для великих зображень із швидким завантаженням.

Pannellum легко хостити на будь-якому веб-сервері, не потребує жодного додаткового обладнання, вона працює просто у браузері. При цьому треба якісно

проробити панорамні зображення та оптимізувати їх розмір таким чином, щоб створювався баланс між якістю зображення та швидкістю завантаження панорамної сцени [32]. Всі необхідні параметри та API доступні на офіційному сайті Pannellum (рис. 1.5)



Рисунок 1.5 – Приклад створеного 3D панорамного туру з використанням бібліотеки Panellum

Для VR-турів застосовують платформи на кшталт Unity VR [22], що дає можливість створювати інтерактивні 3D-сцени з ефектом присутності та взаємодією з об'єктами. Для цього в Unity Hub створюється проєкт з використанням шаблону віртуальної реальності. Це дозволяє автоматично завантажити всі необхідні для цієї технології бібліотеки та файли. В подальшому використання такого туру потребує спеціального шолому, в якому буде транслюватися зображення сцени та інтерактивних індикаторів (рис. 1.6)

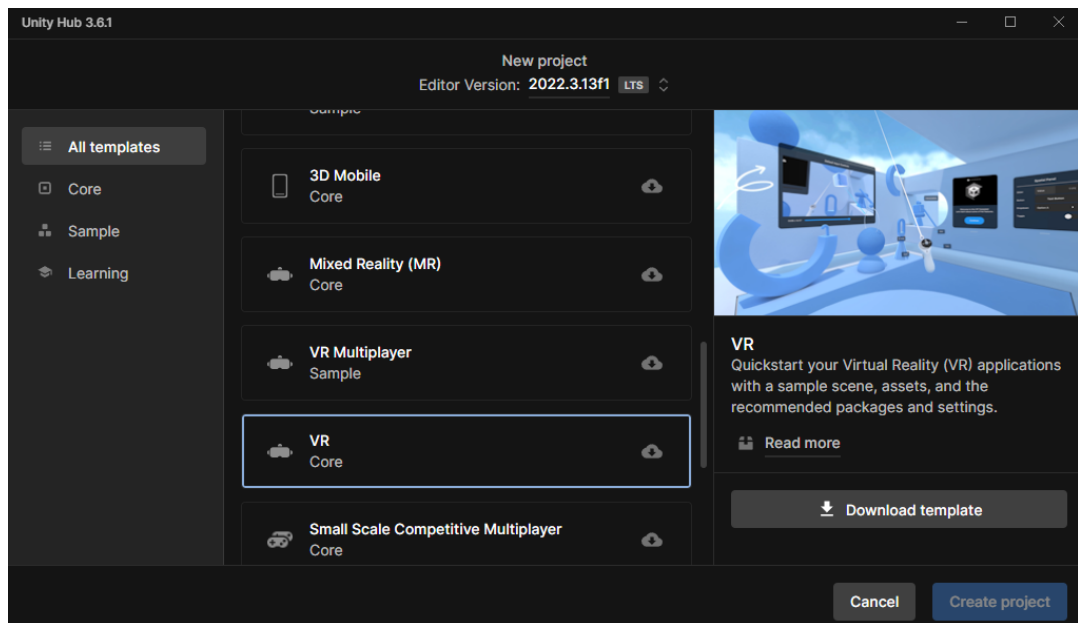


Рисунок 1.6 – Використання шаблону VR Core створення сцени

Крім того, для точного сканування приміщень можуть застосовуватися спеціальні камери, як Matterport, які забезпечують максимально реалістичну візуалізацію. Такі камера коштують близько 400000 гривень та мають складну технологію зйомки, під час якої камера пересувається по приміщенню та робить знімок за допомогою вбудованих лідарів на 360 градусів навколо себе (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Сканування приміщення за допомогою камер Matterport

В результаті створюється 3D сцена, яка відображає відсканований простір, на яку можна додавати окремо відскановані чи створені 3D моделі для відтворення реалістичного інтер'єра локації (рис. 1.8).

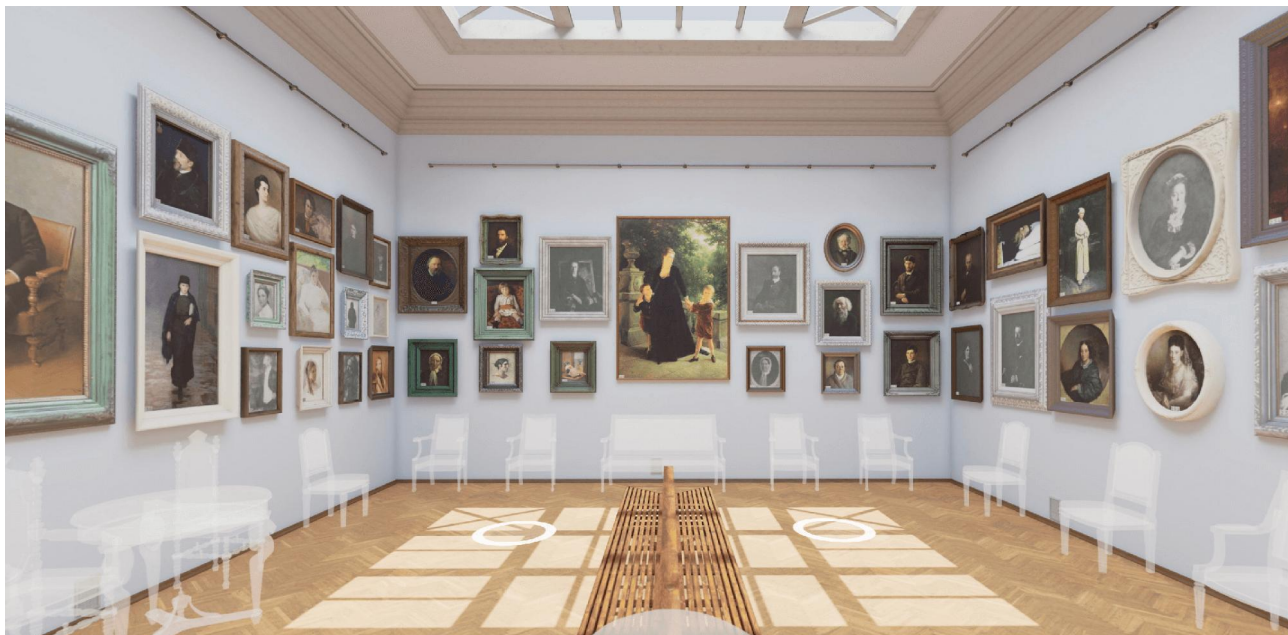


Рисунок 1.8 – Відтворення VR сцени 3D туру

Таким чином, створення туру з використанням VR технологій [12] має значну вищу якість та реалістичність відтворення моделі, проте має набагато вищу вартість реалізації та обмеження на використання, які пов'язані з необхідністю використання додаткового обладнання для перегляду такого туру.

Також слід окремо розглянути платформу Google Street View для створення панорамних зображень. Вона дозволяє робити 360 градусні види з позначенням доріг та маршрутів по всьому туру. Перегляд навколо реалізується з використанням того ж набору API, що й для Google Maps.

API JavaScript Maps надає послугу Street View для отримання та маніпулювання зображеннями, які використовуються в Google Maps Street View. Ця послуга перегляду вулиць підтримується у веб-переглядачі. Кожна сферична панорама Street View являє собою зображення або групу зображень, що забезпечують повний круговий огляд з однієї точки (рис. 1.9).

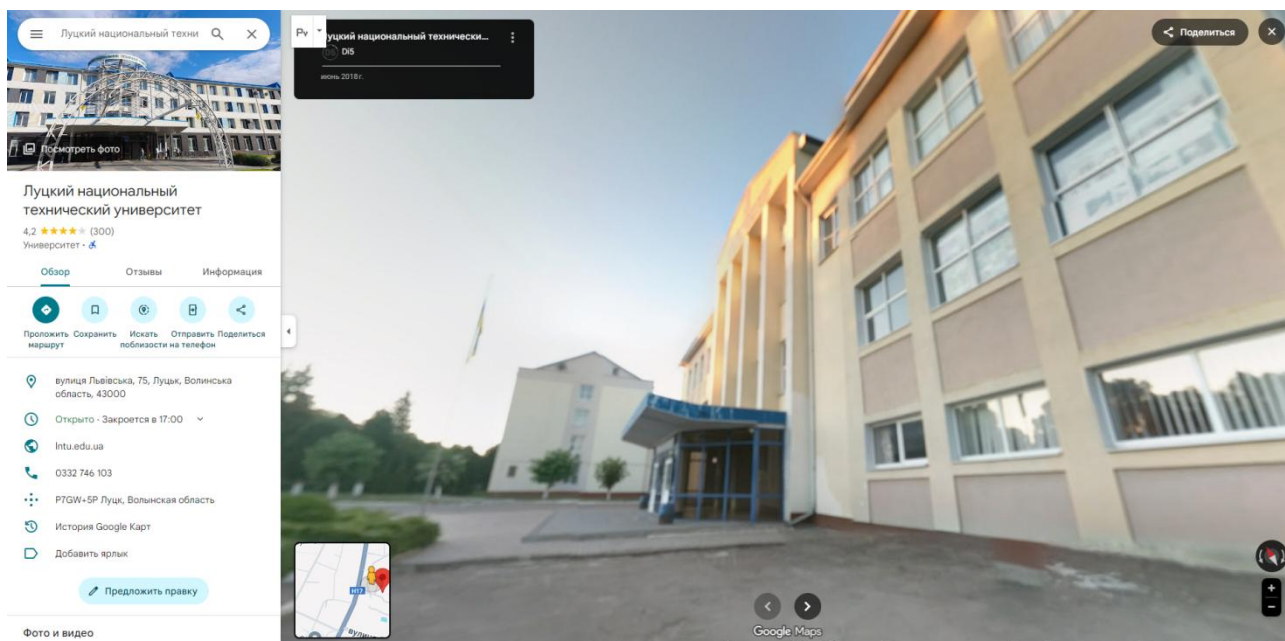


Рисунок 1.9 – Перегляд Луцького національного технічного університету на Google Street View

Таким чином досягається створення якісного 3D простору, який деталізує всі дрібниці і у користувача створюється враження ефекту присутності у локації.

1.2 Огляд і аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень використання 3D-технологій

Взагалі, огляд предметної галузі показав, що віртуальні 3D тури мають багато різновидів назв в залежності від використаної технології. Розрізняють цифрові тури, панорамні тури, кругові тури, 360-градусні тури, 3D тури, тури доповненої реальності і так далі. І кожен з видів базується на своєму технологічному стеку [2].

Створення панорамного 3D тури дозволяє відобразити локацію у вигляді 360 градусних фотографій. Користувач може озиратися на 360 градусів. За допомогою таких турів користувач може пересуватися по локаціях по мітках.

Використання відео туру по університету дозволяє передати користувачу великий масив інформації, стиснутий у наборі кадрів, який впродовж декількох хвилин може бути переглянуто користувачем. Такий тур дозволяє отримати швидко уявлення про інтер'єр, облаштування аудиторій, розташування локацій.

Інформація, подана у вигляді фотогалереї має менш інформативну складову. Користувач в такому разі може клікнути на мітку на карті та побачити кадри цієї локації.

Тури віртуальної реальності є максимально реалістичними та інформативними, проте потребують використання додаткового обладнання у вигляді окулярів віртуальної реальності.

Ефективність віртуальних 3D турів напряду залежить від контенту, на основі якого побудовано віртуальний тур та технології, за допомогою якої реалізовано 3D тур. Такі тури, як метод представлення інформації про локацію утримають увагу аудиторії на 65-70% довше порівняно зі статичними фотогалереями чи відео оглядами. Це можна пояснити інтерактивністю даного інструмента та можливістю самостійно прокласти маршрут для візуалізації. Дослідження показують, що власні розробки на базі відкритих бібліотек, таких як Pannellum, забезпечують гнучкість налаштувань та можливість інтеграції брендів елементів університету, тоді як готові платформи типу Google Street View обмежують функціональність стандартним набором інструментів.

Детальніше описати характеристики камер, об'єктивів, штативів та додаткового обладнання. Порівняти бюджетні та професійні рішення. Розглянути мінімальні технічні вимоги для отримання якісних панорам. Результати досліджень щодо зручності навігації у віртуальних турах, оптимальної кількості точок переходу, розміщення інформаційних маркерів. Аналіз поведінкових патернів користувачів при взаємодії з 3D-турами на різних пристроях.

Порівняльний аналіз технологій створення віртуальних турів по локаціях дозволив сформулювати таблицю типізації віртуальних турів (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння типів віртуального туру

№	Тип технології	Переваги	Недоліки
1	Панорамний тур	1. Можна оглядати приміщення на 360 градусів. 2. Легко пересуватися між локаціями.	1. Не показує руху людей і реальної атмосфери. 2. Мало інтерактивності порівняно з відео або VR.
2	Відео тур	1. Показує рух та атмосферу університету. 2. Легко зрозуміти розташування приміщень.	1. Користувач не обирає, куди дивитися. 2. Не можна детально роздивитися окремі об'єкти.
3	Фотогалерея	1. Легко створювати та переглядати. 2. Можна додавати підписи та пояснення.	1. Немає ефекту присутності. 2. Менш наочне, ніж панорама або відео.
4	Тур віртуальної реальності	1. Максимально реалістичний ефект присутності. 2. Можливість взаємодії з об'єктами в турі.	1. Потрібне спеціальне обладнання 2. Дорожчий та складніший у створенні.

Для оцінки ергономічності та якості турів, був проведений евристичний аналіз різних технологій створення віртуальних турів у вигляді опитування кількох незалежних експертів, яким були представлені приклади реалізації різних турів з використанням різних технологій.

Для формування евристичної оцінки для кожної з технологій було сформовано ряд характеристик, за якими експерти оцінювали результати:

k_1 – якість візуалізації та реалістичність;

k_2 – зручність навігації та інтерфейсу;

k_3 – вартість реалізації;

k_4 – технічна складність впровадження;

k_5 – продуктивність та швидкість завантаження.

Для проведення оцінки було залучено кілька експертів, які оцінили кожен з вказаних характеристик після перегляду 3D турів. Оцінки проводилися на основі ваг, присвоєних кожній характеристиці, що дозволяє відобразити їх відносну важливість. Експерти обиралися довільно, кожен експерт має різне відношення до галузі професії. Для отримання більш точної інтегральної оцінки ігрові за стосунки були оцінені за вищезазначеними характеристиками.

Таблиця 1.2 – Експериментальні оцінки вимог користувача

Характеристика	Вага	Варіант технології						Інтегральна оцінка					
		Google St View	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano	Google St View	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano
Експерт 1 - веб-розробник з досвідом створення інтерактивних проектів													
k_1	0.2	30	30	40	50	30	40	6	6	8	10	6	8
k_2	0.2	50	40	50	40	50	40	10	8	10	8	10	8
k_3	0.25	40	40	40	40	36	20	10	10	10	10	9	5
k_4	0.1	50	40	30	50	50	30	5	4	3	5	5	3
k_5	0.25	40	40	20	36	40	48	10	10	5	9	10	12
Загалом	1							41	38	36	42	40	36

Таблиця 1.3 – Експериментальні оцінки вимог користувача

Характеристика	Вага	Варіант технології						Інтегральна оцінка					
		Google St Vie	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano	Google St Vie	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano
Експерт 2 – викладач кафедри, фахівець з освітніх технологій													
k ₁	0.1	30	30	20	40	40	30	3	3	2	4	4	3
k ₂	0.3	50	50	60	30	60	50	15	15	18	9	18	15
k ₃	0.1	30	50	30	40	40	60	3	5	3	4	4	6
k ₄	0.15	60	60	40	40	60	40	9	9	6	6	9	6
k ₅	0.35	60	40	40	40	40	60	21	14	14	14	14	21
Загалом	1							51	46	43	37	49	51

Таблиця 1.4 – Експериментальні оцінки вимог користувача

Характеристика	Вага	Варіант технології						Інтегральна оцінка					
		Google St Vie	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano	Google St Vie	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano
Експерт 3 - фахівець з 3D-моделювання та комп'ютерної графіки													
k ₁	0.2	60	20	30	50	60	40	12	4	6	10	12	8
k ₂	0.2	60	30	20	30	50	40	12	6	4	6	10	8
k ₃	0.2	60	60	50	50	50	50	12	12	10	10	10	10
k ₄	0.2	30	50	30	30	50	50	6	10	6	6	10	10
k ₅	0.2	30	40	40	40	30	30	6	8	8	8	6	6
Загалом	1							48	40	34	40	48	42

Таблиця 1.5 – Експериментальні оцінки вимог користувача

Характеристика	Вага	Варіант технології						Інтегральна оцінка					
		Google St View	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano	Google St View	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano
Експерт 4 – ІТ-менеджер з досвідом впровадження цифрових рішень у ЗВО													
k ₁	0.4	50	30	40	50	50	50	20	12	16	20	20	20
k ₂	0.1	50	50	50	50	50	50	5	5	5	5	5	5
k ₃	0.2	40	50	40	50	50	50	8	10	8	10	10	10
k ₄	0.1	40	50	40	30	30	30	4	5	4	3	3	3
k ₅	0.2	30	30	30	30	30	30	6	6	6	6	6	6
Загалом	1							43	38	39	44	44	44

Таблиця 1.6 – Визначення інтегральної оцінки

	Вага	Google St View	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano	Google St View	Unity VR	Matterport	Three	Pannellum	Krpano
Експерт 1	0.3	41	38	36	42	40	36	10.6	11.4	10.8	12.6	12	10,8
Експерт 2	0.2	51	46	43	37	49	51	10.2	9.2	8.6	7.4	9.8	10.2
Експерт 3	0.2	48	40	34	40	48	42	9.6	8	6.8	8	9.6	8.4
Експерт 4	0.3	43	38	39	44	44	44	12.9	11.4	11.7	13,2	13,2	13,2
Середня	1							10,8	10	9,5	10.3	11.1	10.6

Із урахуванням того, що всі експерту розуміли, що проект буде розроблюватися в рамках дипломної студентської роботи, інтегральні оцінки

сформувалися таким чином, що найбільша інтегральна оцінка була виставлена для технології Pannellum. Відповідно до проведеного імперичного дослідження із залученням сторонніх експертів, проєкт буде розроблятися із використанням бібліотеки Pannellum.

1.3 Огляд літературних джерел з теорії та методики створення віртуальних панорамних турів

Питання створення віртуальної 3D локації та подання цього як впровадження мультимедійних засобів підіймаються у наукових працях українськими та зарубіжними науковцями та дослідниками. Серед них варто відмітити праці В.Ю. Бикова, Б.С. Гершунського, С.А. Лапшина, Г.М. Шампанера, О.В. Григор'євої, М.П. Ковалевського, А.І. Горшкова, В.С. Томакова, М.Ю. Кадемії, Д.К. Чесната, Р.С. Гуревича [8]. На них посилаються в досить багатьох публікаціях та тезах, присвяченим питанням створення 3D панорамних турів.

Загальний розвиток технологій, які дозволяють візуалізувати простори сильно вплинув на методи створення віртуальних панорамних турів. Під час огляду літератури була знайдена цікава фундаментальна праця А.А. Ганієвої [4], що визначає основні підходи до цифрового тривимірного моделювання. В цій роботі детально розглянуто питання методів моделювання для реконструкції історичного середовища та створення інтерактивної візуалізації, яка в подальшому демонструвалася студентам історичного факультету.

А.А. Ганієва в своїх роботах наголошує на важливість того, щоб всі геометричні дані відповідали точності коректної побудови сцени. Це за словами науковця допомагає сформувати 3D тур, який є реалістичний.

Багато корисної інформації, яка формує глибокі розуміння методики відтворення архітектурних об'єктів чи будівель з використанням засобів цифрової реконструкції висвітлені у роботах П.Б. Кукси [7]. Науковець зробив

велику роботу в аналізі підходів до створення інтерактивних моделей та надав рекомендації, які описують структури віртуальних просторів, що будуть використані при розробці програмного продукту. Ці рекомендації дозволяють адаптувати відповідні принципи для побудови панорамних 3D турів у навчальних та демонстраційних цілях.

Під час аналізу літератури та публікацій, які стосуються предметної галузі дослідження та розробки, були знайдені наукові публікації А. Брона [1]. Сучасні технічні засоби та програмні рішення для створення подібних 3D панорамних турів, які є аналогами для дослідження в рамках дипломного проєкту чітко і ясно розписані в роботах А. Брона. Велику увагу в цих роботах приділено взаємодії користувача з простором 3D туру, що робить його інтерактивним, також розглянуті способи покращення реалістичності сцени та методі оптимізації 3D графіки.

Багато корисної інформації стосовно розвитку панорамної фотографії та її застосування у створенні VR сцена зібрано в наукових публікаціях М. Піндора [38]. В цих статтях висвітлено багато практичних аспектів організації зйомки для 3D турів, принципів зшивання панорам та підготовки цих даних для створення інтерактивного середовища. В його працях було взято багато корисних технічних прийомів для створення 3D туру. В роботах Т.О. Репіної [13] досліджені питання використання панорамних технологій з точки маркетингу та віддаленого туру по об'єкту. В її наукових працях розглядаються питання проектування віртуальних екскурсій та засоби, які допомагають зробити їх більш інформативними та цікавими з точки зору привабливості. Головною ідеєю, яка була позичена у авторки полягає у впливі структури навігації та якості візуального контенту на те, як людина, яка користується віртуальним туром сприймає цей контент, наскільки він є реалістичним.

Також слід зазначити важливість і актуальність питання створення 3D моделей, які в подальшому можуть бути використані та інтегровані у сцену 3D

панорамного туру впливу штучного інтелекту та сервісів, які спроможні створювати 3D модель по фото.

Тематика застосування ШІ для створення мультимедійних продуктів піднімалася низкою дослідників.

Так, у працях автора Зіханг Дай та Дж. Кім [30; 46] пропонуються методики розробки математичних моделей, які описують результати застосування ШІ, однак у них відсутній опис і детальний порівняльний аналіз технологій ШІ.

Метод нечіткого пошуку мультимедійного вмісту за допомогою тегів настрою та їх синонімів у соціальних мережах пропонується в дослідженні автора Ч. Мун [35]. Проте вказане дослідження не дозволяє інтерпретувати результати цього пошуку стосовно можливих напрямів його використання для мультимедійних панорам.

У працях Я. Гіла, Х. Донга, М. Тореса та Л. Пана [24] запропоновані прикладні аспекти реалізації технологій ШІ в певних мультимедійних проєктах, однак вони не надають можливостей аналізувати та відстежувати взаємодії користувачів із контентом.

Специфіка використання ШІ для контенту комп'ютерної графіки систематизована в наукових статтях Ю.Є. Храбовського, О.М. Бондаренко, А.В. Кобзева та С. Чонга [27]. Водночас у цих наукових статтях відсутні методичні засади використання віртуальної реальності для формування мультимедійного контенту.

Методики створення інтерактивних медіаелементів інтерфейсу описано в дослідженнях Л. Куї, Ж. Фу, С.В. Ушакова та О.П. Євсєєва [21]. Проте вказані дослідження не враховують специфіку створення віртуальних панорам і віртуальних турів.

РОЗДІЛ 2

ОПИС РІШЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Технологічні аспекти проектування віртуальних 3D-турів для освітніх закладів

У сучасному цифровому середовищі, де активно розвиваються способи представлення та дослідження реальних просторів, створення систем віртуальних панорамних турів стає важливою частиною підвищення взаємодії користувачів із фізичними об'єктами. Панорамне зображення — це фотографія з широким кутом огляду, яка передає сцену або простір у розширеному форматі (рис. 2.1). Такі зображення можна отримати за допомогою спеціального панорамного обладнання або шляхом зшивання кількох окремих фотографій, зроблених цифровими дзеркальними камерами [18].



Рисунок 2.1 – Приклад представлення приміщення у панорамному вигляді

Хоча панорамні фотографії самі по собі є статичними, об'єднання кількох таких знімків дозволяє створювати системи віртуальних турів. Цей цифровий підхід уже суттєво вплинув на різні галузі, зокрема освіту, туризм і розваги [33, 35].

Попри те, що панорамні віртуальні тури не є настільки занурювальними чи інтерактивними, як повноцінні VR-середовища, вони зберігають високу

деталізацію оточення та є значно доступнішими, адже для їх використання не потрібно мати VR-шолом (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Окуляри Apple Vision Pro для перегляду 3D віртуального туру

Особливо популярним рішенням є веб-версії таких систем, оскільки вони працюють на різних платформах і не потребують додаткового обладнання.

Проте, незважаючи на значний прогрес у створенні віртуальних турів, досі існує проблема плавності та свободи руху користувача [31]. Багато систем дозволяють лише переходити між окремими сценами, але не забезпечують покрокового руху, який є важливим для кращого відчуття присутності та просторової орієнтації [44].

Віртуальна реальність відтворює реальне середовище, з яким користувач може взаємодіяти. Це може бути повністю створений комп'ютером простір або зняті реальні сцени [26].

Завдяки віртуальній реальності можна реалізувати панорамні сцени. Вони є унікальними тому, що вони можуть охопити весь простір навколо точки зйомки, вони допомагають створювати реалістичні та захопливі віртуальні середовища. У VR-додатках панорами можуть використовуватися як безшовні фони великого розміру, що дає користувачу відчуття присутності у віртуальному просторі.

Панорамні зображення забезпечують 360-градусний огляд навколишнього середовища з однієї точки. Це можна уявити як огляд із центру простору або проєкцію сцени на циліндричну поверхню. 720-градусна

панорама дає ще ширший огляд, бо включає більше простору по вертикалі. У ній користувач може повертати погляд не лише ліворуч-праворуч на повне коло, а й вгору-вниз.

Існує два основні способи отримання панорам. Перший реалізується використанням спеціальних панорамних камер, наприклад Insta360. Такі камери можуть знімати ширококутні кадри одним рухом. Їхня перевага полягає в тому, що простота у використанні та наявність вбудованих програм для автоматичного зшивання знімків. Проте іноді таким чином можна отримати нижчу деталізацію через обмежену роздільну здатність камер.

Як варіант, можна відзняти звичайним цифровим фотоапаратом кадри по кругу, а потім зшити їх у панораму у фотошопі [23]. Цей варіант дозволяє отримати панорами високої якості. Цифрові камери є доступними, тому цей спосіб вважається економним і досі є найпопулярнішим, хоч і складнішим у редагуванні (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики обладнання для створення панорам

№	Модель	Кут огляду	Ціна	Призначення
1	Ricoh Theta Z1	360°	35000-40000	Професійна зйомка
2	Insta360 One X2	360°	15000-18000	Напівпрофесійна
3	GoPro MAX	360°	18000-22000	Універсальна
4	Canon 5D + 8-15mm	180°	80000-120000	Професійна якість
5	iPhone/Android	180°	5000-10000	Бюджетне рішення
6	Matterport Pro2	360°	400000-450000	Архітектурне сканування

Ricoh Theta Z1 це професійна 360° камера з двома 1-дюймовими сенсорами та роздільною здатністю 23 мегапікселя. Камера створює сферичні зображення з високою деталізацією завдяки подвійним об'єктивам з апертурою

f/2.1. Підтримує зйомку у форматі RAW, що дає можливість гнучкого постпродакшну.

Основна перевага Ricoh Theta Z1 – автоматичне зшивання панорам безпосередньо в камері та миттєва готовність до використання. Вбудований стабілізатор зображення мінімізує спотворення при зйомці з рук. Вартість камери становить близько 35 000-40 000 грн, що робить її оптимальним вибором для професійних проєктів віртуальних турів освітніх закладів (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Обладнання для панорамної зйомки Ricoh Theta Z1

Insta360 One X2 це популярна напівпрофесійна 360° камера з роздільною здатністю 18 мегапікселів та можливістю відеозйомки у якості 5.7K. Камера має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та мобільний додаток для швидкої обробки знімків. Водонепроникний корпус (IPX8) дозволяє проводити зйомку у різних умовах.

Особливістю Insta360 One X2 є технологія FlowState, яка забезпечує кінематографічну стабілізацію зображення без використання гімбала. Режим InstaPano автоматично створює якісні 360° панорами одним дотиком. Вартість

пристрою 15 000-18 000 грн робить його доступним для середніх бюджетів, зберігаючи високу якість результату (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Обладнення для панорамної зйомки Insta360 One X2

GoPro MAX це універсальна екшн-камера з функцією 360° зйомки та роздільною здатністю 16.6 мегапікселя. Може працювати як у режимі 360°, так і як звичайна екшн-камера з одним об'єктивом. Має шість мікрофонів для просторового звуку та сенсорний дисплей для зручного керування. Переваги GoPro MAX – надійна конструкція, водонепроникність до 5 метрів без додаткового боксу та підтримка TimeWarp 3.0 для створення таймлапсів. Автоматичне зшивання працює через мобільний додаток GoPro. При вартості 18 000-22 000 грн камера підходить для динамічних сцен та зйомки у складних умовах (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Обладнення для панорамної зйомки GoPro MAX

Canon EOS 5D Mark IV з об'єктивом Canon EF 8-15mm f/4L Fisheye – професійне рішення для створення високоякісних панорам через зшивання окремих кадрів. Повнокадровий сенсор 30.4 мегапікселя забезпечує виняткову деталізацію. Fisheye-об'єктив 8-15mm дозволяє знімати широкі сцени з мінімальною кількістю кадрів.

Для створення повної сферичної панорами потрібно зробити 6-8 знімків з різних кутів на панорамній головці зі штативом. Програми типу PTGui або Hugin зшивають кадри у єдину панораму високої роздільності (до 12000×6000 пікселів). Хоча комплект коштує 80 000-120 000 грн, якість зображення є найвищою серед усіх варіантів, що критично важливо для професійних презентацій (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Обладнання для панорамної з'омки Canon EOS 5D Mark IV

Смартфони iPhone 13 Pro / Samsung Galaxy S21 Ultra – бюджетне рішення для створення панорам через режим панорамної зйомки або спеціалізовані додатки такі як Google Street View, Cardboard Camera. Хоча якість поступається спеціалізованим камерам, сучасні флагманські смартфони здатні створювати придатні для веб-використання 180° панорами (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Обладнання для панорамної зйомки Samsung Galaxy S21 Ultra

Основна перевага використання смартфонів це відносна доступність обладнання та простота використання без додаткового навчання. Для освітніх проєктів з обмеженим бюджетом це прийнятний стартовий варіант, особливо для тестування концепції туру перед інвестуванням у професійне обладнання.

Matterport Pro2 це спеціалізована система для архітектурного 3D-сканування з інфрачервоним сенсором глибини. Створює не просто панорами, а повноцінні 3D-моделі приміщень з точними вимірами. Роздільна здатність 134 мегапікселя забезпечує фотореалістичну якість. Технологія одночасно знімає колір, глибину та інфрачервоне зображення. Matterport автоматично створює інтерактивні 3D-тури, поверхові плани та схеми просторів. Однак вартість такого обладнання є досить високою, що робить це рішення доцільним лише для великих комерційних проєктів або коли потрібна абсолютна точність вимірів (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Обладнання для панорамної зйомки Matterport Pro2

Віртуальні тури поєднують різні технології, такі як комп'ютерну графіку, обробку зображень, мультимедіа та інтерфейси взаємодії. Такі системи можуть реалістично імітувати пересування всередині відтворених сцен і широко використовуються в різних сферах.

Для обробки та зшивання панорамних зображень використовували програми Adobe Photoshop та PTGui. Ці інструменти обрано тому, що вони є одними з найпоширеніших у побудові веб-турів і мають багато додаткових плагінів (рис. 2.9).

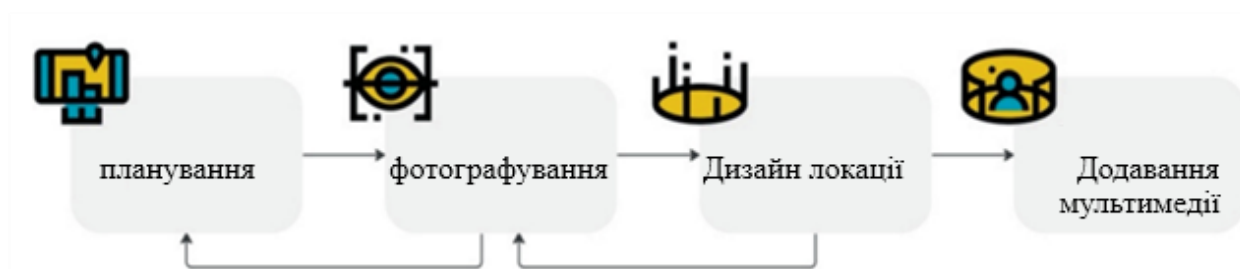


Рисунок 2.9 – Схема створення віртуального 3D туру

Після того, як всі локації сфотографовані, починається процес обробки панорамних фотознімків за допомогою програми Adobe Photoshop. Всі білі області, які залишаються знизу та зверху потрібно домалювати, щоб на сцені все виглядало коректно (рис. 2.10).

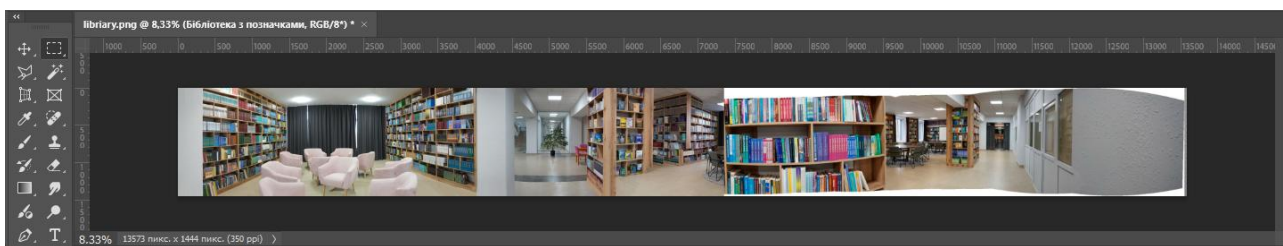


Рисунок 2.10 – Обробка панорамних фотознімків

Заключним етапом є формування точок переходів між сценами та організація логічного просування туром, щоб це відповідало дійсним локаційним специфікам.

2.2 Аналіз сучасного стану розвитку систем віртуальної навігації та панорамних технологій

Якщо звернутися до статистичних даних, які показують тенденцію використання технології віртуальної навігації, то цифри показують стрімкий та стабільний ріст попиту та кількості користувачів сервісом Google Maps, який не перестає зростати з 2011 року (рис. 2.11).

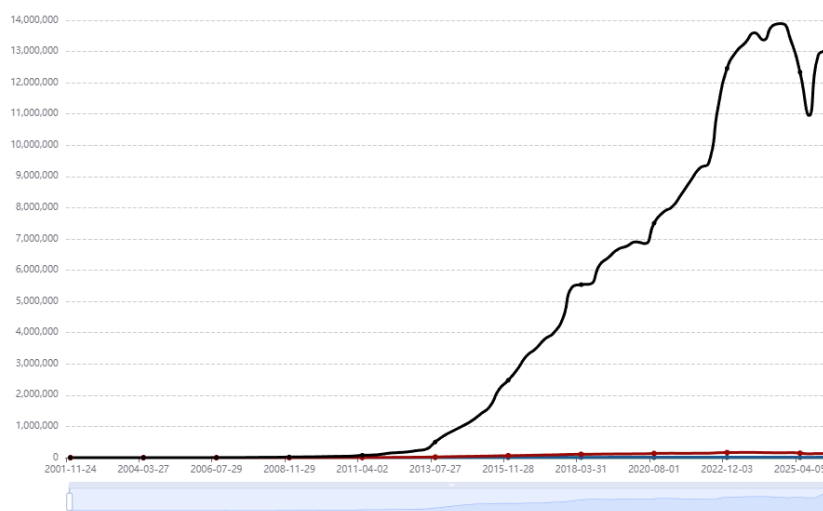


Рисунок 2.11 – Статистика використання Google Maps у світі

На сьогоднішній день, статистика показує, що більше 12 мільйонів користувачів в одну мить використовують сервіс системи віртуальної навігації

від Google, що є наймовірним показником з точки зору одночасного використання [15].

Якщо вдаватися, до вікового розподілу [25] у питанні використання сервісу Google Maps, як інструмента навігації, то з віком попит знижується (рис. 2.12).

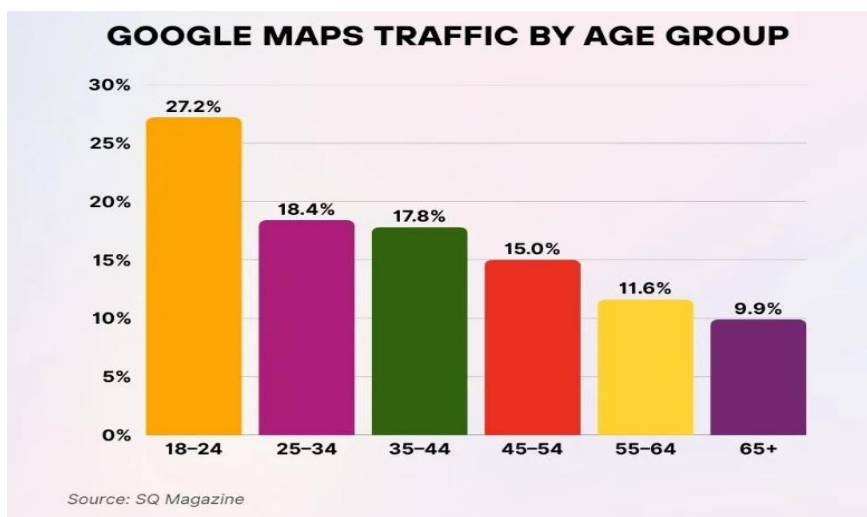


Рисунок 2.12 – Віковий розподіл використання сервісу навігації

Що стосується обраної технології для розробки та дослідження в рамках дипломного проєкту, а саме використання бібліотеки Pannellum [14] то статистичні показники говорять про те, що одночасно цією бібліотекою у світі користуються майже 30000 сервісів. Тенденція росту попиту та зацікавленості даною бібліотекою стабільно зростає (рис. 2.13).

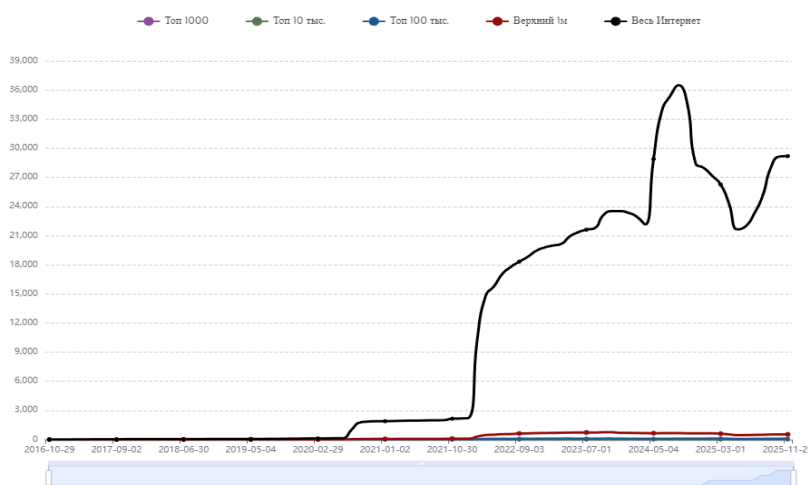


Рисунок 2.13 – Статистика використання бібліотеки Pannellum

Загалом, якщо підняти питання попиту на ринку камер, які можуть знімати 360 градусні знімки, то можна побачити стрімке зростання попиту. За даними дослідження глобального ринку, у 2023 році загальний обсяг ринку 360-градусних камер досяг 1,3 мільярда доларів США [16].

Прогнозні показники свідчать про значне розширення ринку до 2032 року, коли очікується досягнення позначки у 8,7 мільярда доларів США, що становить майже семикратне збільшення порівняно з 2023 роком (рис. 2.14).

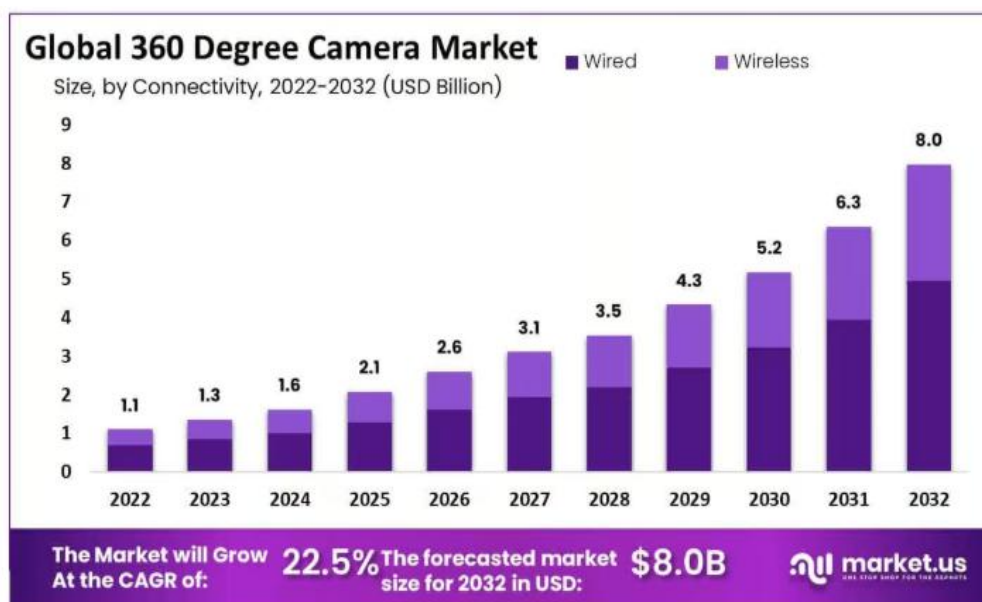


Рисунок 2.14 – Попит на камери 360 градусів у світі

Сучасні системи віртуальної навігації та панорамних технологій активно розвиваються завдяки поширенню хмарних сервісів та доступності спеціалізованого програмного забезпечення. На ринку чітко виділяються два підходи до розгортання таких систем: хмарні рішення та локальні.

Багато компаній зараз створюють хмарні платформи для віртуальних турів історичних локацій, готелів, університетів та житлової нерухомості. Загальне зростання витрат на хмарні послуги стимулює розвиток віртуальних турів. Наприклад, за даними World Economic Forum [40], лише у 2021 році витрати на хмарні сервіси в Азійсько-Тихоокеанському регіоні досягли 48,4 млрд доларів (рис. 2.15).

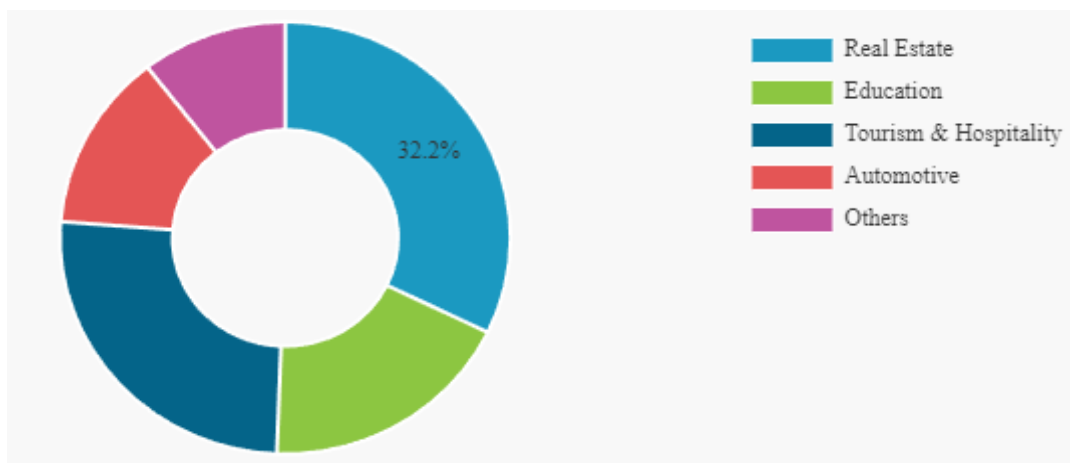


Рисунок 2.15 – Статистичний розподіл по галузям використання віртуальних турів

Якщо розглядати віртуальні тури за сферами застосування, то найбільший попит спостерігається у ринку нерухомості. Покупці житла дедалі частіше шукають об'єкти онлайн, тому агентства активно використовують панорамні технології для показу квартир та будинків.

2.3 Розробка функціональної схеми роботи об'єкта проектування

Розроблений віртуальний 3D панорамний тур буде відображати локації навчального закладу у тій послідовності і тій комбінації можливих переходів між локаціями, що відповідає дійсному архітектурному плануванню будівлі.

Панорамний 3D тур включає в себе наступні локації університету:

- Вхід в будівлю університету;
- Аудиторія 1;
- Аудиторія 3;
- Бібліотека;
- Аудиторія 301;
- Аудиторія 303;

- Арт хол;
- Аудиторія 36;
- Аудиторія 37;
- Коворкінг 1;
- Коворкінг 2;
- Деканат;
- Кабінет декана.

3D тур будувався з урахуванням архітектурних розташувань локацій. Користувач може пересуватися туром лише тим шляхом, яким можливо пройти по приміщеннях університету в оффлайн режимі. Неможливо перестрибнути через локацію чи перейти в локацію, в яку немає дверей чи переходу з поточної локації (рис. 2.16).

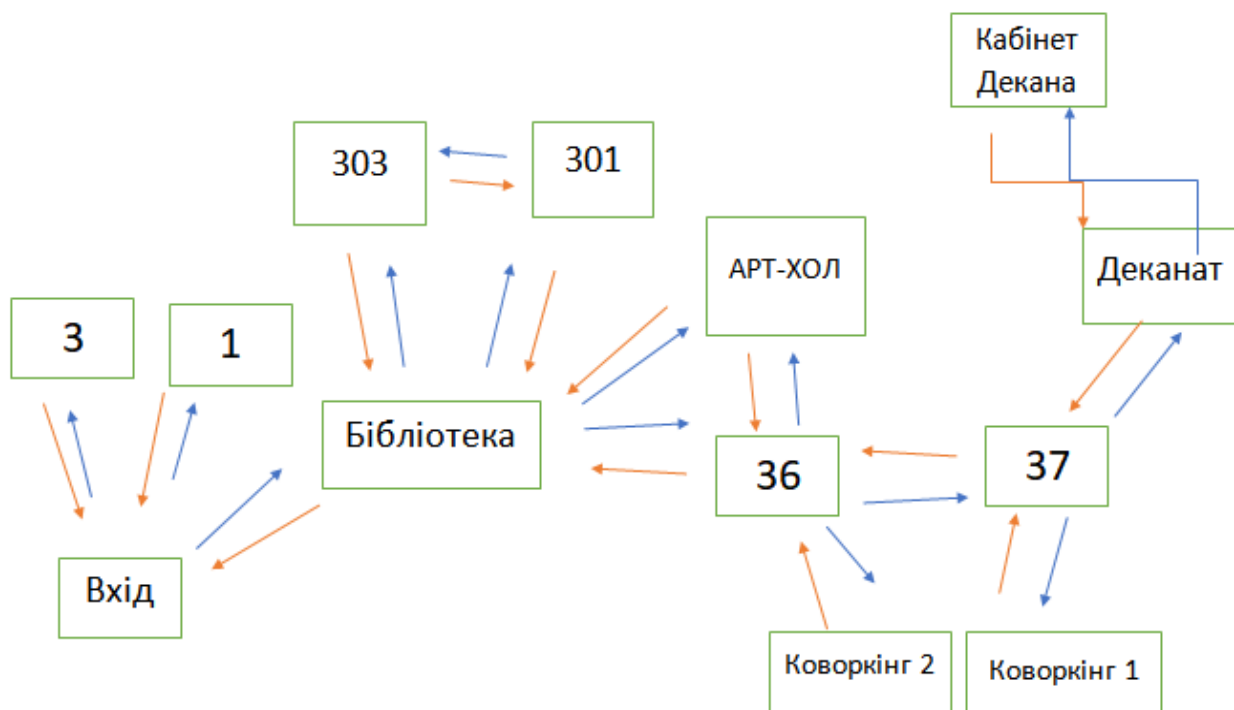


Рисунок 2.16 – Функціональна схема 3D туру

Для коректної організації переходу між сценами була сформована матриця доступності переходу між локаціями, яка показує можливість пересування та переходу на наступну локацію з поточної (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Матриця трасувань переходів між локаціями

	Вхід	Аудіторія 1	Аудіторія 3	Бібліотека	Аудіторія 301	Аудіторія 303	Арт хол	Аудіторія 36	Аудіторія 37	Коворкінг 1	Коворкінг 2	Деканат	Кабінет декана
Вхід		+	+	+									
Аудіторія 1	+												
Аудіторія 3	+												
Бібліотека	+				+	+	+	+					
Аудіторія 301				+		+							
Аудіторія 303				+	+								
Арт хол				+				+					
Аудіторія 36				+					+		+		
Аудіторія 37								+		+		+	
Коворкінг 1									+				
Коворкінг 2								+					
Деканат									+				+
Кабінет декана												+	

В загальному випадку для користувача було створено таку функціональну схему взаємодії із віртуальним туром, при якій неможливо заплутатися та зробити неправильний вибір. Функціонально користувачу даються лише ті

можливості для взаємодії із системою, які не порушують логіку роботи додатку та не будуть конфліктувати із запрограмованою логікою коду (рис. 2.17).

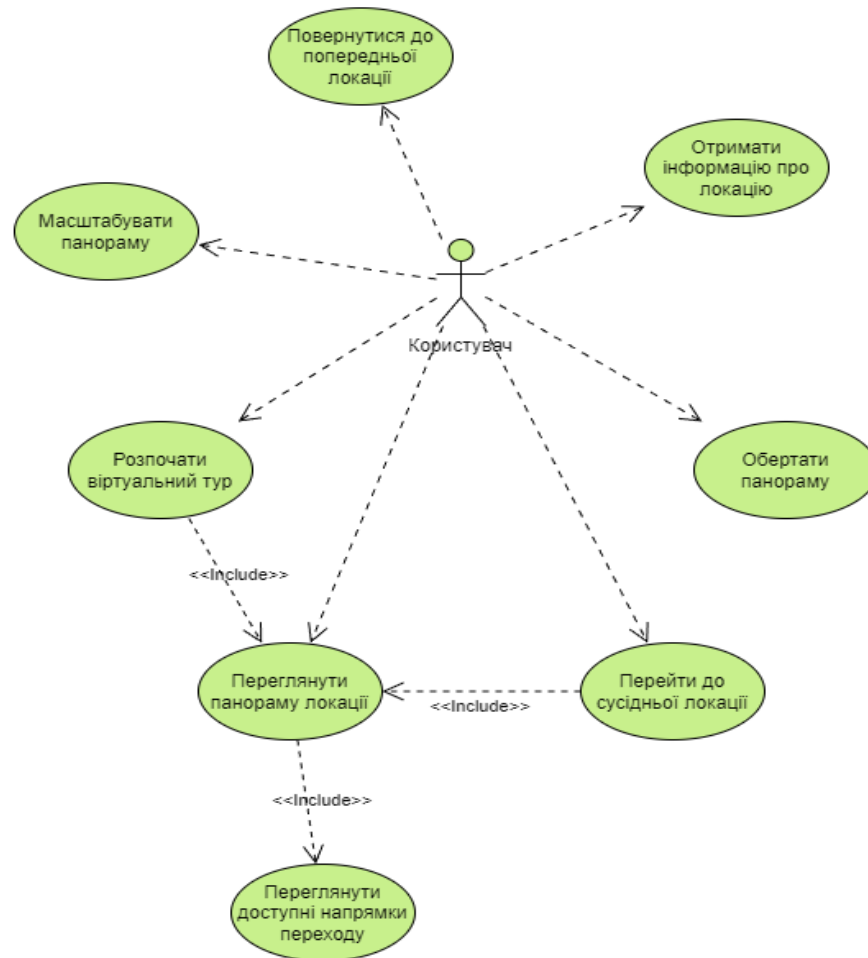


Рисунок 2.17 – Use-Case діаграма використання системи

Користувач може використати тур таким чином, щоб самостійно обирати маршрут, створюючи можливість власноруч диктувати правила оформлення контенту.

2.4 Опис засобів розробки та програмного забезпечення об'єкта проектування

Створення панорамного 3D туру представляє собою складний технічний процес. В рамках обмеженого або навіть відсутнього бюджету було прийнято рішення створити програмний продукт без використання жодних платних

інструментів. Для реалізації проєкта знадобився комплекс програмних засобів, які дозволили створити закінчений веб-додаток.

Зроблені панорамні фотознімки були відредаговані та оброблені в програмі Adobe Photoshop [17]. Потрібно було прибрати зайві предмети, які потрапили у кадр та замалювати білі пропуски зверху та знизу кадрів.

Основні завдання, які виконувалися за допомогою Photoshop, включали корекцію кольору та яскравості панорамних зображень для досягнення однорідності візуального стилю всіх тринадцяти локацій туру. Для цього використовувалися алгоритми стиснення JPEG з підбором оптимального рівня якості, що дозволило зменшити обсяг файлів без суттєвої втрати деталізації (рис. 2.18).

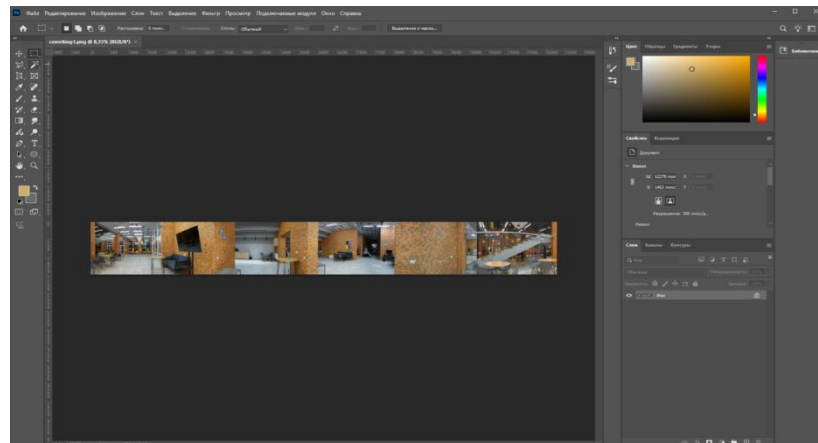


Рисунок 2.18 – Використання графічного редактору Adobe PhotoShop

Важливим етапом була оптимізація розміру файлів панорам: необхідно було знайти баланс між якістю зображення та швидкістю завантаження у веб-браузері.

За допомогою програмного засобу Adobe PhotoShop всі панорамні зображення були приведені до якісного вигляду, готового до продакшену. Таким чином досяглась оптимальна якість візуалізації панорамного 3D туру.

Для створення програмного продукту був обраний для використання редактор коду VS Code [34] від компанії Microsoft. Це безкоштовний редактор коду з потужною системою завантаження сторонніх бібліотек та компонентів.

Також перевагою даного програмного засобу є вбудований термінал. Цей редактор коду є одним з найпопулярніших інструментів серед веб-розробників завдяки своїй продуктивності, широким можливостям налаштування та багатій екосистемі розширень.

У процесі розробки VS Code використовувався для написання HTML-розмітки структури туру, CSS-стилів для оформлення інтерфейсу та JavaScript-коду для реалізації логіки навігації та інтерактивності панорам (рис. 2.19).

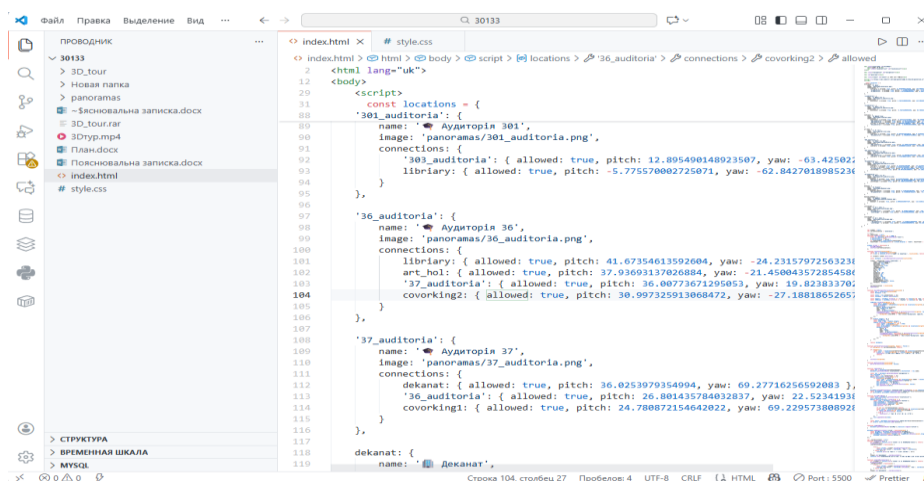


Рисунок 2.19 – Використання редактору коду VS Code

Редактор забезпечив зручну роботу з кодом завдяки синтаксичному підсвічуванню, автодоповненню коду (IntelliSense), автоматичному форматуванню та можливості швидкої навігації між файлами проекту. Вбудована інтеграція з системою контролю версій Git дозволила відстежувати зміни в коді та зберігати історію розробки.

Для тестування та налагодження віртуального туру в процесі розробки використовувався Live Server – розширення для Visual Studio Code [43], що реалізує локальний веб-сервер з функцією автоматичного оновлення сторінки. Цей інструмент є критично важливим для розробки сучасних веб-додатків, оскільки більшість веб-технологій, включаючи завантаження зовнішніх ресурсів та виконання JavaScript-коду, коректно працюють лише при запуску через веб-сервер, а не при прямому відкритті HTML-файлів у браузері (рис. 2.20).

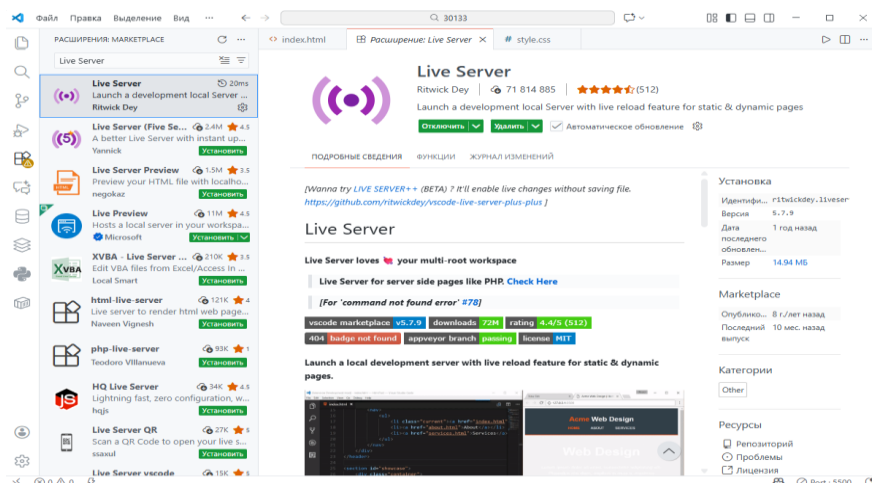


Рисунок 2.20 – Інсталяція розширення Live Server

Завдяки інтеграції з VS Code весь процес від написання коду до його перегляду в браузері відбувався в рамках єдиного робочого середовища, що підвищило ефективність розробки.

Для інтеграції необхідних компонентів для роботи із панорамними 3D турами був використаний та завантажений код бібліотеки Pannellum. Всі коди та інсталяційні файли є на офіційному сайті у відкритому доступі (рис. 2.21).

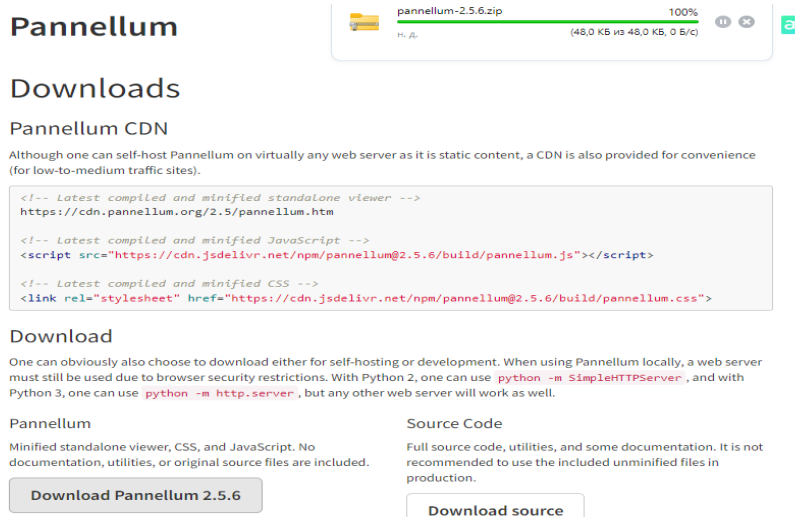


Рисунок 2.21 – Завантаження бібліотеки Pannellum

Таким чином, вибрані програмні засоби, бібліотеки та розширення дозволили реалізувати ідею проєкта створення панорамного 3D туру кафедри цифрових освітніх технологій.

2.5 Опис програмного та апаратного середовища функціонування віртуального туру

Віртуальний тур реалізовано як клієнтський додаток. Відповідно для його перегляду потрібен браузер, а для роботи серверної частини використовується LiveServer. Тур повністю працює у браузері без необхідності встановлювання стороннього програмного забезпечення користувачем.

Основа технологічного стеку розробки лежить у використанні HTML, CSS та JavaScript. За допомогою HTML було створено розмітку сторінки, яка включає всі необхідні елементи. Документ написаний таким чином, що створений viewport адаптується під всі розширення екранів. Основні структурні блоки включають контейнер для панорами, інформаційну панель з назвою поточної локації, навігаційні елементи, міні-карту з переліком всіх локацій та спливаючі повідомлення (рис. 2.22).

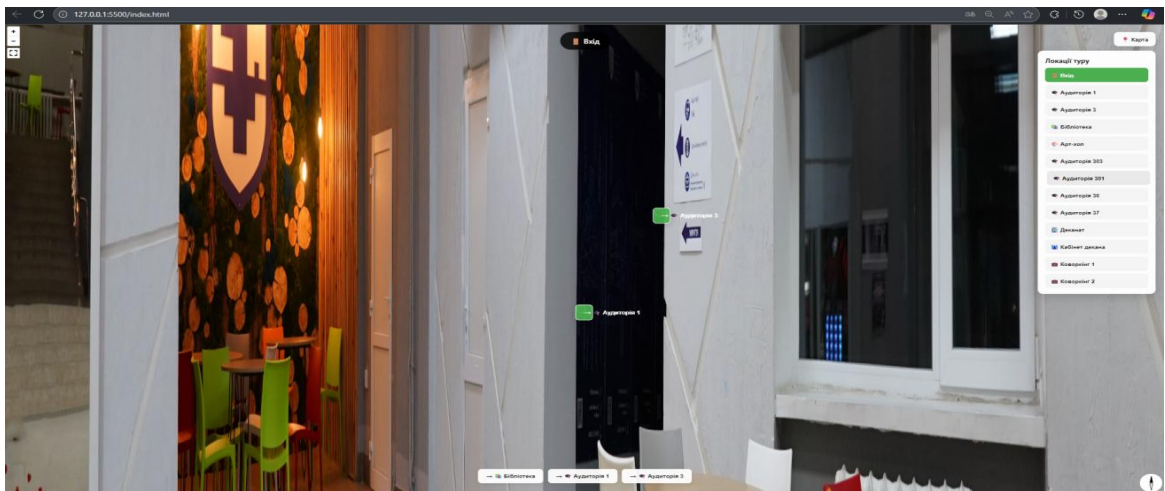


Рисунок 2.22 – Відображення навігації туру на сторінці

CSS описує набір стилів, для стильного відображення сторінки та привабливого юзабіліті, а отже створення дружнього інтерфейсу. Стили в проєкті реалізують адаптивний дизайн.

Вся бізнес-логіка додатку виконується завдяки JavaScript [6]. В скрипті зберігається інформація про локації та точки переходу. Всі дані зберігаються на рівні localStorage [11].

Відповідно до того, що віртуальний тур реалізується як веб-додаток, то вимоги до апаратного забезпечення для його використання є досить помірними. Програмний продукт можна використовувати на будь-якому середньостатистичному комп'ютері. Мінімальні апаратні вимоги до комп'ютера, на якому використовується програмний продукт є наступними:

- процесор: 1.5 ГГц або швидший (будь-якої архітектури: x86, x64, ARM);
- оперативна пам'ять: 2 ГБ RAM;
- графічний адаптер: з підтримкою WebGL 1.0 або новішої версії;
- дисплей: роздільна здатність від 1024×768 пікселів;
- пристрої введення: миша, тачпад, сенсорний екран або клавіатура;
- інтернет-з'єднання: широкопasmовий доступ зі швидкістю від 3 Мбіт/с.

Цього цілком достатньо, щоб комфортно користуватися розробленим програмним забезпеченням. Наприклад, навіть локація бібліотеки, яка містить велику кількість переходів, легко працює на вищезазначеному залізі (рис. 2.23).

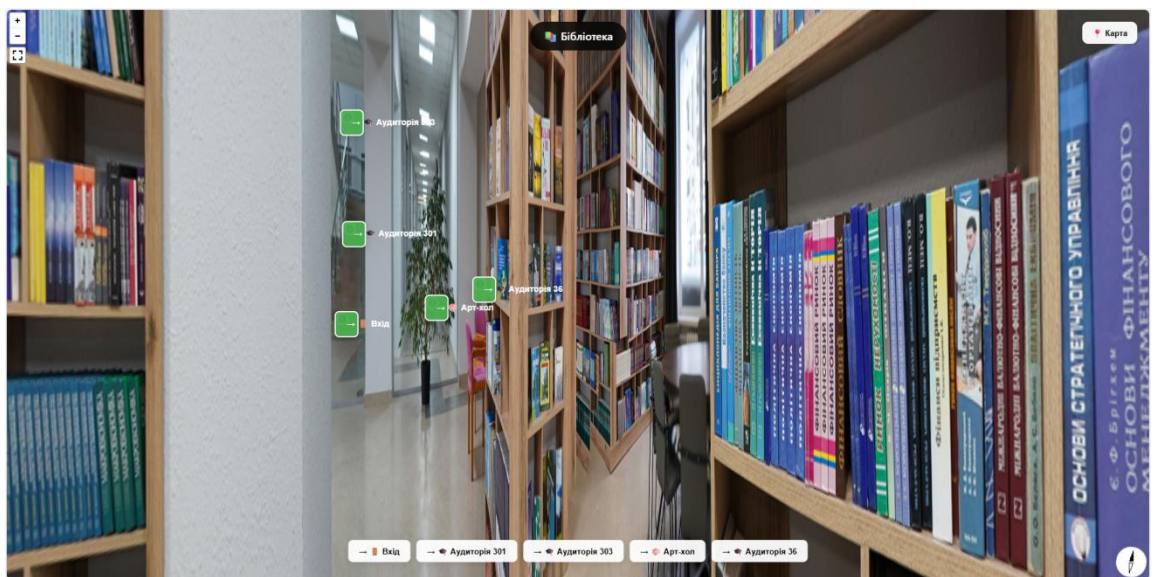


Рисунок 2.23 – Локація туру бібліотеки університету

Вимоги програмні для використання віртуального 3D-туру є наявність сучасного веб-браузера з підтримкою стандартів HTML5, CSS3, JavaScript ES6 та технології WebGL. В 3D турі також є велика локація, яку

можна оглядати, змінюючи нахил камери високо вгору. За допомогою CSS стилів реалізовано комфортне відображення локацій (рис. 2.24).

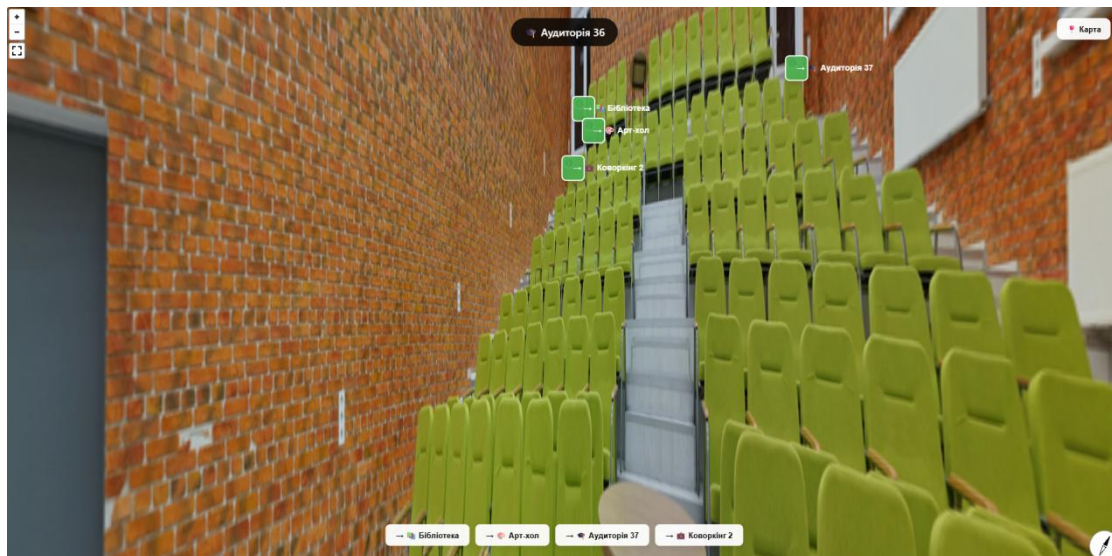


Рисунок 2.24 – Локація аудиторії 36

Користувачу не потрібно встановлювати додаткове програмне забезпечення, плагіни чи розширення браузера. Весь функціонал туру працює безпосередньо в браузері завдяки використанню стандартних веб-технологій.

Також слід зазначити, що віртуальний тур не працює в оффлайн режимі, тому для його використання потрібне стабільне інтернет підключення. Додаток працює на стороні клієнта, він не отримує, не збирає жодних даних від клієнта, тому є повністю безпечним, жодної інформації викрасти в даному випадку неможливо.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1 Методологічні особливості впровадження віртуальних 3D-турів у процес підготовки здобувачів вищої освіти

Впровадження віртуальних 3D-турів у процес підготовки здобувачів вищої освіти не такий простий, як вважається на перший погляд. Він потребує комплексного підходу, який охоплює технічні, методичні, організаційні та економічні аспекти. Методологія впровадження віртуальних 3D-турів у процес підготовки здобувачів вищої освіти ґрунтується на основних принципах:

- доступність;
- інтерактивність;
- інформаційність;
- масштабованість.

Доступність це критерій, який описує, чи може даний програмний продукт працювати на будь-якому пристрої, наприклад телефоні, планшеті чи комп'ютері при цьому, щоб не потрібно було встановлювати жодного додаткового програмного забезпечення, щоб просто у браузері користуватися 3D панорамним туром.

Інтерактивність описує те, наскільки програмний продукт зможе забезпечити активну взаємодію користувача з туром, з локаціями, по яким користувач буде пересуватися по мітках чи навігаційному меню. Тобто цей показник показує ступінь інтеграції користувача у середовище віртуального туру.

Інформаційність представляє собою показник того, наскільки детальну та повну інформацію користувач може отримати від використання 3D панорамного туру. Важливо, щоб інформація про локації приміщення навчального закладу була корисною та давала можливість зрозуміти

користувачу, що саме є в університеті, які лекційні та комп'ютерні класи, яке обладнання для навчання.

Масштабованість передбачає можливість легкого додавання нових локацій у тур без порушення існуючої структури та створення нових маркерів для переходу між локаціями.

Процес впровадження віртуальних 3D турів представляє собою цикл дій та етапів виконання робіт (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Етапи впровадження віртуального 3D туру університета

Перший етап представляє собою аналіз потреб та визначення цільової аудиторії. Цільовою аудиторією проєкту є студента та абітурієнти, які цікавляться навчанням в університеті. Також цільовою аудиторією є батькі абітурієнтів, які зацікавлені у виборі найкращого місця для здобуття освіти їх дітям. Це можуть бути також іноземні студенти, викладачі та партнери з інших закладів освіти.

Другий етап впровадження панорамного 3D туру по університеті представляє собою процес планування структури та контенту туру. На цьому етапі формується список локацій, які будуть задіяні в 3D турі та створюється схема логічних переходів між локаціями. На цьому етапі обов'язково

продумається точка входу в вебдодаток, тобто локація, з якої починається показ туру.

Третій етап представляє собою технічну реалізацію проєкту. На цьому етапі за допомогою дзеркальної камери робляться панорамні знімки приміщень, їх постобробка.

На четвертому етапі проходить процес розробки веб-інтерфейсу на базі бібліотеки Pannellum. Створюються розмітка на сторінці, розставляються індикатори точок переходу та додається інформаційну панель з назвою приміщень та кнопками, за якими також можна переміщуватися між приміщеннями.

Заключний етап представляє собою інтеграцію створеного програмного продукту в інформаційне середовище університету. У разі, якщо проєкт буде реалізовано цікаво і він сподобається адміністрації навчального закладу, можна розмістити посилання на тур на офіційному сайті університету.

Також важливим фактором і процесом є формування економічного обґрунтування створення програмного продукту. Це, по-суті, є критичним фактором при прийнятті рішення для розробки. Зрозуміло, що для впровадження навігаційного 3D туру для університету можна піти трьома шляхами, серед яких є власна розробка, яка повністю створюється з нуля, замовлення у сторонньої компанії, яка займається подібними видами розробки та використання сервісів таких, як Google Street View.

Замовлення подібного продукту коштує досить дорого, використання сервісу Google Street View створює ефект шаблонності та розуміння, що продукт побудований на платформі Google. Тому доречно розібратися в технології створення панорамних 3D турів та виконати розробку власноруч, що дозволить створити кастомний і унікальний програмний продукт та отримати знання та відповідні навчки (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Економічне порівняння підходів до створення віртуальних турів

№	Підхід	Початкові витрати (грн)	Час створення	Щорічне обслуговування (грн)	Термін актуальності
1	Google Street View	0	2-4 години	0	Необмежено
2	Замовлення у компанії	50000-80000	1-2 тижні	0	Необмежено
3	Самостійна розробка	0	4-6 тижнів	0	Необмежено
4	Matterport платформа	400000+	1 тиждень	0	Необмежено

Методичні аспекти використання віртуального туру в освітньому процесі включають кілька сценаріїв. Для абітурієнтів тур стає інструментом знайомства з матеріально-технічною базою та можливостями кафедри під час профорієнтаційних заходів, днів відкритих дверей або самостійного дослідження. Для студентів молодших курсів віртуальний тур допомагає швидше адаптуватися до нового середовища, знайти потрібні аудиторії та зорієнтуватися в просторі кафедри. Для іноземних студентів тур є першим знайомством з місцем навчання ще до приїзду в Україну.

Викладачі можуть використовувати віртуальний тур для демонстрації можливостей кафедри партнерам з інших університетів під час онлайн-зустрічей або конференцій. Представники бізнесу, які розглядають можливості співпраці, отримують наочне уявлення про обладнання та простори, доступні для спільних проєктів. Випускники кафедри можуть віртуально повернутися до alma mater та побачити, як змінилася матеріальна база з часу їхнього навчання.

3.2 Методичні вимоги до проектування інтерактивних віртуальних турів освітніх просторів

Під час проектування інтерактивних 3D турів важливо враховувати та продумувати ергономічність та зручність використання програмного продукту. Взагалі, ергономічні характеристики вказують на те, чи комфортно користуватися туром користувачу, чи розуміє і легко орієнтується в організації структуру туру (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Ергономічні вимоги до елементів інтерфейсу

№	Параметр	Вимога	Обґрунтування
1	Мінімальний розмір кнопок на ПК	32×32 пікселі	Забезпечує комфортне наведення курсору
2	Мінімальний розмір кнопок на мобільному	44×44 пікселі	Відповідає Apple HIG та Material Design
3	Контраст тексту до фону	Мінімум 4.5:1	Стандарт WCAG 2.1 рівня AA
4	Контраст великого тексту	Мінімум 3:1	Для заголовків та великих елементів
5	Відстань між інтерактивними елементами	Мінімум 8 пікселів	Запобігає випадковим натисканням
6	Час відгуку на дію користувача	Максимум 0.1 секунди	Забезпечує відчуття миттєвої реакції
7	Тривалість анімації переходу	0.5-1 секунда	Баланс між швидкістю та плавністю
8	Розмір тексту на ПК	Мінімум 14px	Забезпечує читабельність
9	Розмір тексту на мобільному	Мінімум 16px	Адаптація до малих екранів

Також потрібно ретельно продумати навігацію системи та точки для переходу між локаціями. Важливо, щоб навігація в інтерфейсі була гармонійно інтегрована, була помітна і при цьому не перекривала основні елементи локації (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Структура та вимога до системи навігації

Рівень навігації	Елементи	Розташування	Функціонал	Поведінка
Локальний	Точки hotspots	На панорамі	Перехід на сусідню локацію	З'являються при завантаженні локації
Контекстний	Кнопки меню	Справа в куті	Відображає список всіх локацій	З'являється при завантаженні локації
Допоміжний	Індикатор поточної локації	Зверху посередині	Відображає назву поточної локації	З'являється при завантаженні локації
Керування камерою	Зажата ліва кнопка миші та пересування її, скролінг середнім колесом миші	На миші	Рух по локації, зміна кута перегляду	

Для забезпечення якості програмного продукту та забезпечення зручності керування та використання 3D панорамним туром, до системи були сформовані методичні вимоги стосовно продуктивності та оптимізації системи. Найважливіший параметр стосовно цього є швидкість завантаження сторінки та локацій при переході. Це критично важливо для утримання уваги користувача,

щоб користувач не вийшов з вебдодатку. В разі, якщо система буде використовувати забагато трафіку, чи швидкість завантаження сторінок буде занадто повільною, зavelикий ризик того, що користувач може просто покинути вебдодаток (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Вимоги до продуктивності віртуального туру

Показник	Відмінно	Добре	Задовільно	Незадовільно
Час завантаження початкової панорами	< 2 сек	2-3 сек	3-5 сек	> 5 сек
Час переходу між локаціями	< 0.5 сек	0.5-1 сек	1-2 сек	> 2 сек
Час відгуку інтерфейсу	< 0.1 сек	0.1-0.2 сек	0.2-0.5 сек	> 0.5 сек
Кадрова частота обертання камери	60 FPS	30-60 FPS	24-30 FPS	< 24 FPS
Загальний розмір сторінки	< 500 КБ	500-1000 КБ	1-2 МБ	> 2 МБ

Дотримання цих методичних вимог забезпечує створення високоякісного віртуального туру, який буде зручним, швидким та доступним для всіх категорій користувачів на різних пристроях та платформах. Панорамний тур буде якісними та ефективним в питаннях залучення нової аудиторії.

3.3 Методика проведення експериментальної оцінки ефективності віртуального 3D-туру кафедри цифрових освітніх технологій

Враховуючи те, що були сформовані методичні вимоги для проведення розробки та оцінки якості експерименту, було прийнято рішення викласти створений 3D панорамний тур кафедри цифрових освітніх технологій в

інтернет у відкритий доступ та розмістити інформацію з проханням оцінити створений програмний продукт, пройшовши опитування.

Для цього було створено сторінку для опитування. Всі дані з форм, які заповнюють користувачі зберігаються у базу даних для подальшої обробки отриманих результатів та формування метрик якості створеного продукту. Завдяки такому підходу були отримані дані від широкої аудиторії користувачів, що належать до різних географічних, демографічних та зацікавлених шарів населення. Це дозволило отримати репрезентативну вибірку для валідних висновків про якість, зручність та враження від створеного 3D панорамного туру. Опитування респондентів налічують три боки питань, відповіді на які дають зрозуміти картину відношення користувача до розробленого продукту.

В першому блоці користувач вводить персональні дані для ідентифікації та усунення ботів, а саме вводить адресу електронної пошти та ім'я. Перший блок питань включає в себе оцінку користувача відносно загального враження, зручності інтерфейсу, можливості рекомендації відвідати створений 3D тур, оцінка зручності навігації та відгук стосовно користі меню карти (рис. 3.2).

The image shows a survey form with the following structure:

- Персональна інформація**
 - Email * (text input field)
 - Ім'я * (text input field)
- Загальне враження**
 - 1. Загальне враження?
 - 1 Погано
 - 2
 - 3 Норм
 - 4
 - 5 Відмінно
 - 2. Зручність інтерфейсу?
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
 - 3. Рекомендували б іншим?
 - 1 Ні
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 Так

Рисунок 3.2 – Перший блок опитування респондентів стосовно вражень від використання 3D туру

Другий блок опитування респондентів включає в себе питання, які оцінюють зручність навігації, якість візуалізації, швидкість завантаження сторінки, якість відображення контенту на сторінці, оцінку доступності та інформативності 3D туру, оцінка користі для рішення про навчання та оцінка відповідності очікуванням (рис. 3.3).

Навігація (продовження)				
6. Зрозумілість hotspot-маркерів?				
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
Якість візуалізації				
7. Якість зображень?				
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
8. Швидкість завантаження?				
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
9. Якість відображення?				
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
Інформативність				
10. Достатність інформації?				
<input type="text" value="1"/> Мало	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/> Норм	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/> Багато
11. Корисність для рішення про навчання?				
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
12. Відповідність очікуванням?				
<input type="text" value="1"/> Ні	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/> Так

Рисунок 3.3 – Другий блок опитування респондентів стосовно вражень від використання 3D туру

Третій блок опитування респондентів включає інформацію про технічні аспекти та індивідуальні дані респондента. Саме тут респондент оцінює наявність технічних проблем, має можливість висловити свою думку у коментарі. Також вказується в даному блоці вік респондента, до якої категорії він відноситься, це може бути абітурієнт, студент, викладач, співробітник, батько студента чи абітурієнка або випускник. Також респондент вказує браузер, з якого він відвідує сторінку (рис. 3.4).

Технічні аспекти

13. Технічні проблеми?

1 Багато	2	3	4	5 Без
-------------	---	---	---	----------

14. Вік:

21-25

15. Категорія:

Випускник

Пристрій:

Комп'ютер

Браузер:

Firefox

Коментарі:

Рисунок 3.4 – Третій блок опитування респондентів стосовно вражень від використання 3D туру

Кожне питання має 5 бальну шкалу оцінювання для забезпечення точного диференціального розподілу оцінок між параметрами та метриками.

Кореляційний аналіз у системі оцінювання результатів відіграє важливу задачу виявлення взаємозв'язків між різними показниками, такими як вік респондента та оцінку зручності інтерфейсу. Після заповнення форми опитування респондент отримує подяку за участь у опитанні (рис. 3.5).

Опитування користувачів - Віртуальний 3D-тур кафедри цифрових освітніх технологій

Заповніть форму після ознайомлення з віртуальним туром

[Відкрити 3D-тур](#)

Дякуємо за участь в опитуванні

[Переглянути результати опитування](#)

Рисунок 3.5 – Фінальне вікно опитування

Загальний результат опитування дає якісну відповідь на питання зручності використання 3D панорамного туру та ефективності його застосування.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБРОБКА, АНАЛІЗ І СПІВСТАВЛЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Зміст та організація експериментального дослідження

Експериментальне дослідження функціональності 3D туру кафедри цифрових освітніх технологій проводилось з метою визначення ефективності системи, виявлення технічних недоліків та оцінки рівня задоволеності користувачів від взаємодії з додатком.

Метою експериментального дослідження є перевірка функціональності віртуального туру на різних пристроях, оцінка зручності інтерфейса, збір зворотнього зв'язку від користувачів, виявлення технічних несправностей чи багів та аналіз поведінки користувачів під час використання веб додатку.

На першому етапі експериментального дослідження проводилось технічне тестування системи та перевірка того, як веб додаток відображається на різних пристроях, в різних браузерях, тобто перевірка адаптивності веб додатку.

Результати тестування показали, що розроблений веб додаток коректно відображається на комп'ютері в різних браузерях. Тестування проводилось на 27 дюймовому та 24 дюймовому дисплеї. Для тестування використовувались браузери:

- Opera;
- Brave;
- Google Chrome;
- Microsoft Edge;
- Firefox.

В усіх браузерях веб додаток поводитьься однаково, нічого не з'їздає, все відображається на своїх місцях, жоден елемент не перекривається (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Дослідження зручності використання та відображення 3D панорамного туру на екрані персонального комп'ютера

При тестуванні веб додатку на планшеті дуже відчувається зручність у використанні, баланс між розміром екрану гаджета та мобільністю використання. На планшеті достатньо зручно використовувати веб додаток. Меню переходів між локаціями, навігація, інформація про поточну локацію розташовані зручно.

Вертикальна орієнтація трохи додає відчуття обмеженості огляду через малу ширину відображення. Доводиться більше тягнути пальцем по екрану, щоб обертатися навколо в локації. Швидкість завантаження, зрозуміло, залежить від швидкості мобільного зв'язку на планшеті або швидкості передачі даних через Wi-Fi. В цілому, використовувати веб додаток на планшеті зручно і комфортно (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Дослідження зручності використання та відображення 3D панорамного туру на екрані планшета

На мобільному телефоні інтерфейс веб додатку автоматично адаптується під вертикальну орієнтацію. Якщо на мобільному телефоні увімкнен режим перевертання екрану, то акселерометр дає команду системі і вона переадаптується під горизонтальну орієнтацію.

Елементи управління масштабуються для зручності взаємодії пальцями. Основною проблемою є обмежений огляд через малий розмір екрану, що потребує більшої кількості жестів для детального вивчення локацій. Швидкість завантаження залежить від якості мобільного зв'язку та може варіюватися від 3 до 7 секунд (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Дослідження зручності використання та відображення 3D панорамного туру на екрані мобільного телефону

Для проведення другого етапу тестування була залучена стороння аудиторія, яка включала абітурієнтів та їх батьків, студентів кафедри, викладачів і співробітників кафедри, випускників ЗВО. Учасники пройшли створене та підготовлене опитування за допомогою простої вебформи.

Усі питання оцінювались за п'ятибальною шкалою Лайкерта, де 1 означає найнижчу оцінку, а 5 – найвищу. Додатково учасникам надавалась можливість залишити текстові коментарі та пропозиції щодо покращення системи. Оцінки, які виставляли респонденти використовувались для розрахунку комплексної оцінки ефективності віртуального туру.

Індекс загального враження показує, яка враження створює веб додаток на користувачів та на їх експірієнс. Розраховується індекс загального враження за формулою 4.1.

$$ІЗВ = \frac{(Q_1+Q_2+Q_3)}{3} \quad (4.1)$$

де Q_1 – середня оцінка на перше питання;

Q_2 – середня оцінка на друге питання;

Q_3 – середня оцінка на третє питання.

Індекс навігаційної ефективності характеризує здатність користувача легко орієнтуватися у віртуальному просторі та швидко знаходити потрібні локації без когнітивного навантаження. Цей показник безпосередньо впливає на тривалість сесії користувача та повноту ознайомлення з контентом туру та розраховується за формулою 4.2.

$$ІНЕ = \frac{(Q_4+Q_5+Q_6)}{3} \quad (4.2)$$

де Q_4 – середня оцінка на четверте питання;

Q_5 – середня оцінка на п'яте питання;

Q_6 – середня оцінка на шосте питання.

Індекс якості візуалізації визначає технічну досконалість відображення 3D-контенту та комфортність сприйняття візуальної інформації користувачем. Високе значення цього показника забезпечує ефект присутності та реалістичність віртуального середовища, що є ключовим фактором для прийняття рішень абітурієнтами. Розраховується даний індекс за формулою 4.3.

$$ІЯВ = \frac{(Q_7+Q_8+Q_9)}{3} \quad (4.3)$$

де Q_7 – середня оцінка на сьоме питання;

Q_8 – середня оцінка на восьме питання;

Q_9 – середня оцінка на дев'яте питання.

Індекс корисності контенту оцінює практичну цінність інформації, представленої у віртуальному турі, для досягнення цілей користувача. Цей

показник відображає, наскільки ефективно тур виконує свою основну функцію. Індекс корисності контенту розраховується за формулою 4.4.

$$ІКК = \frac{(Q_{10}+Q_{11}+Q_{12})}{3} \quad (4.4)$$

де Q_{10} – середня оцінка на десяте питання;

Q_{11} – середня оцінка на одинадцяте питання;

Q_{12} – середня оцінка на дванадцяте питання.

Інтегральний показник задоволеності є узагальнюючою метрикою, що враховує всі ключові аспекти взаємодії користувача з віртуальним туром у їх взаємозв'язку. Цей показник дозволяє отримати цілісну картину ефективності системи та порівнювати різні версії додатку або альтернативні рішення. Інтегральний показник задоволеності розраховується за формулою 4.5.

$$ІПЗ = (ІЗВ * 0,3 + ІНЕ * 0,25 + ІЯВ * 0,25 + ІКК * 0,2) \quad (4.5)$$

Ці коефіцієнти були підібрані експертним методом з урахуванням обробленої літератури в рамках предметної галузі та із урахуванням пріоритетності різних аспектів досвіду користувачів.

Для формування загальної оцінки, береться інтегральний показник задоволеності та співставляється наступним коефіцієнтам задоволеності (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Критерії загальної оцінки

Інтегральний показник задоволеності	Інтерпритація оцінки
4,5-5,0 балів	Відмінно
3,5-4,4 балів	Добре
2,5-3,4 балів	Задовільно
1,5-2,4 балів	Низька
1,0-1,4 балів	Критично низька

Таке оцінювання, яке організовано так, як описано вище, засноване на експериментальному дослідженні дозволить отримати об'єктивні оцінки після обробки результатів вибірки результатів опитування респондентів та сформувати загальне комплексне уявлення про реальний стан системи та її якість.

4.2 Обробка результатів дослідження юзабіліті та ефективності віртуального туру

Після завершення етапу збору даних було проведено статистичну обробку та аналіз отриманих результатів опитування. Всього в дослідженні взяло участь 52 респонденти, які оцінили різні аспекти роботи віртуального 3D-туру за п'ятибальною шкалою.

Результати опитування були згруповані за п'ятьма основними категоріями, серед них загальне враження, юзабіліті, навігація, візуалізація та інформативність. Для кожної категорії розраховувалися середні оцінки, які дозволили визначити сильні та слабкі сторони розробленої системи.

Аналіз середніх оцінок за п'ятьма основними категоріями показав високий рівень задоволеності користувачів розробленим віртуальним туром (рис. 4.4). Всі показники перевищили позначку 4,5 бала з 5 можливих, що свідчить про відмінну якість реалізації системи.

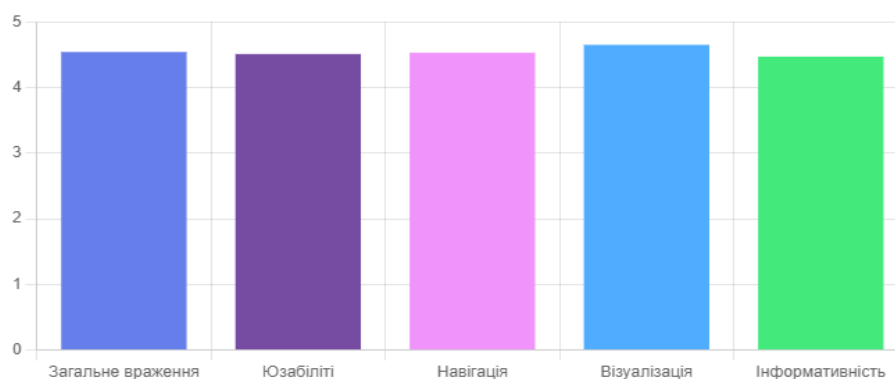


Рисунок 4.4 – Середні оцінки по категоріях

Респонденти, які проходили опитування були студенти учбового закладу та невелика кількість абітурієнтів, які розглядають учбовий заклад, як місце для майбутньої освіти. Це є позитивним фактором, оскільки саме ці дві категорії є основною цільовою аудиторією віртуального туру. Абітурієнти використовують тур для ознайомлення з кафедрою перед вступом, а студенти можуть оцінити зручність навігації та повноту представленої інформації.

Решта респондентів розподілилася між випускниками кафедри ЦОТ. Така різноманітність учасників дослідження дозволила отримати комплексну оцінку системи з різних точок зору та врахувати потреби різних категорій користувачів (рис. 4.5).

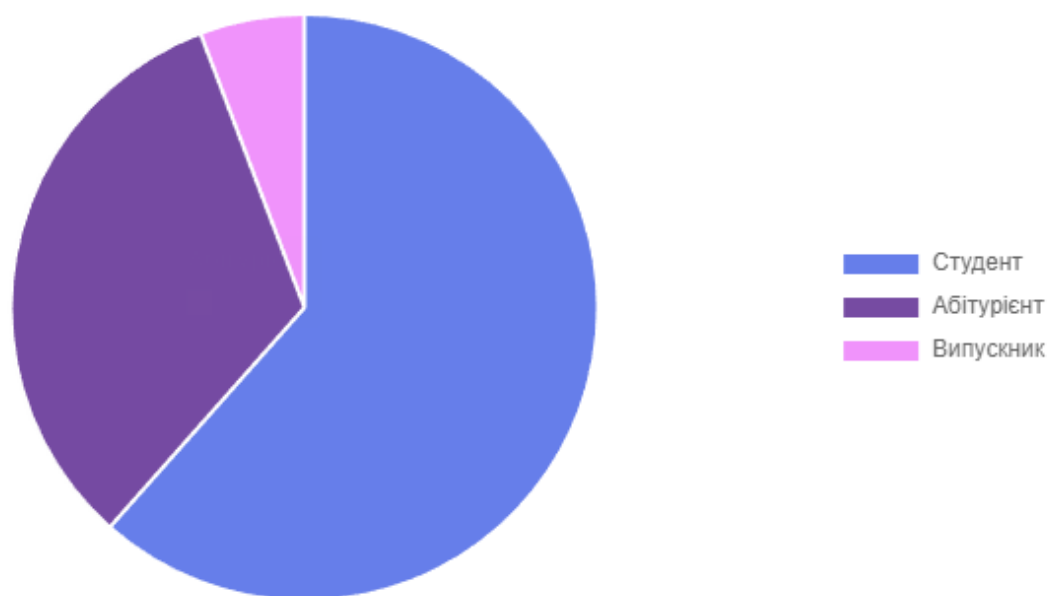


Рисунок 4.5 – Розподіл опитаних респондентів по групах

Детальний аналіз окремих питань опитування показав стабільно високі оцінки за всіма параметрами функціональності віртуального туру. Найвищі оцінки отримали параметри якість зображень та швидкість завантаження, що свідчить про успішну оптимізацію панорамних зображень та ефективну роботу системи.

Дещо нижчу оцінку отримали достатність інформації та корисність меню, що вказує на можливість покращення інформаційного наповнення туру та елементів просторової орієнтації. Важливо відзначити високу оцінку параметру

відсутність технічних проблем, що склала 4,63 бала, що підтверджує стабільність та надійність роботи системи на різних пристроях.

Таким чином можна сказати, що всі показники знаходяться на високому рівні і свідчать про те, що система знаходиться в оптимальному стані та створена із урахуванням сучасних потреб, трендів та технологій (рис. 4.6).

Питання	Середня оцінка	Розподіл оцінок	
Загальне враження від туру	4.54 / 5.00		91%
Зручність інтерфейсу	4.50 / 5.00		90%
Готовність рекомендувати	4.52 / 5.00		90%
Зручність навігації	4.52 / 5.00		90%
Корисність міні-карти	4.48 / 5.00		90%
Зрозумілість hotspot-маркерів	4.60 / 5.00		92%
Якість зображень	4.75 / 5.00		95%
Швидкість завантаження	4.63 / 5.00		93%
Якість відображення	4.56 / 5.00		91%
Достатність інформації	4.44 / 5.00		89%
Корисність для прийняття рішення	4.48 / 5.00		90%
Відповідність очікуванням	4.48 / 5.00		90%
Відсутність технічних проблем	4.63 / 5.00		93%

Рисунок 4.6 – Детальний аналіз оцінок від респондентів

Аналіз вікової структури учасників дослідження показав, що основну частину респондентів складають молоді люди віком 17-20 років та 21-25 років. Разом ці дві вікові групи становлять майже основну цільову аудиторію системи. Цільовою аудиторією віртуального туру є абітурієнти та студенти. Така концентрація молоді аудиторії є позитивним показником, оскільки саме ця категорія користувачів найбільш активно використовує цифрові технології та є основними споживачами освітніх послуг кафедри.

Старші вікові групи представлені значно меншою кількістю респондентів. Хоча їхня частка є невеликою, наявність представників різних вікових категорій дозволила оцінити зручність використання туру для аудиторії з різним рівнем цифрової грамотності. Відсутність респондентів старше 55 років може вказувати на необхідність додаткових заходів для залучення цієї категорії користувачів, включаючи батьків абітурієнтів та представників старшого покоління викладачів (рис. 4.7).

Вікові групи

Вік	Кількість	%
17-20	20	38.5%
21-25	16	30.8%
26-35	6	11.5%
36-45	5	9.6%
46-55	5	9.6%

Рисунок 4.7 – Віковий розподіл респондентів

Аналіз розподілу респондентів за типами браузерів показав домінування Google Chrome (48,1%), що є очікуваним результатом з огляду на його популярність серед користувачів. Така різноманітність браузерів у вибірці дозволила перевірити коректність роботи віртуального туру в різних програмних середовищах (рис. 4.8).

Браузери

Браузер	Кількість	%
Chrome	25	48.1%
Safari	11	21.2%
Firefox	9	17.3%
Edge	7	13.5%

Рисунок 4.8 – Статистика використання браузерів

Найбільший сегмент діаграми представляє вікову групу 17-20 років, що займає майже половину всього кола. Другий за величиною сегмент відповідає групі 21-25 років, що разом з першою групою формує домінуючу частину опитаних користувачів.

Старші вікові категорії 26-35, 36-45 та 46-55 років представлені значно меншими сегментами (рожевий, блакитний та зелений кольори відповідно), що підтверджує орієнтацію віртуального туру на молоду цільову аудиторію. Така структура респондентів є оптимальною для оцінки ефективності системи, оскільки саме молоді користувачі є найбільш активними споживачами цифрових освітніх технологій та найімовірнішими потенційними студентами кафедри (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 – Розподіл опитаних респондентів за віком

Аналіз типів пристроїв, з яких користувачі переглядали віртуальний тур, показав значне домінування настільних комп'ютерів близько 29 респондентів. Це свідчить про те, що користувачі віддають перевагу великим екранам для детального ознайомлення з 3D-панорамами кафедри. Мобільні телефони посідають друге місце з приблизно 17 користувачами, що підтверджує важливість адаптивного дизайну та оптимізації інтерфейсу для сенсорного керування.

Планшети використовувались найменшою кількістю респондентів, що може пояснюватись меншою поширеністю цих пристроїв серед цільової аудиторії (рис. 4.10).

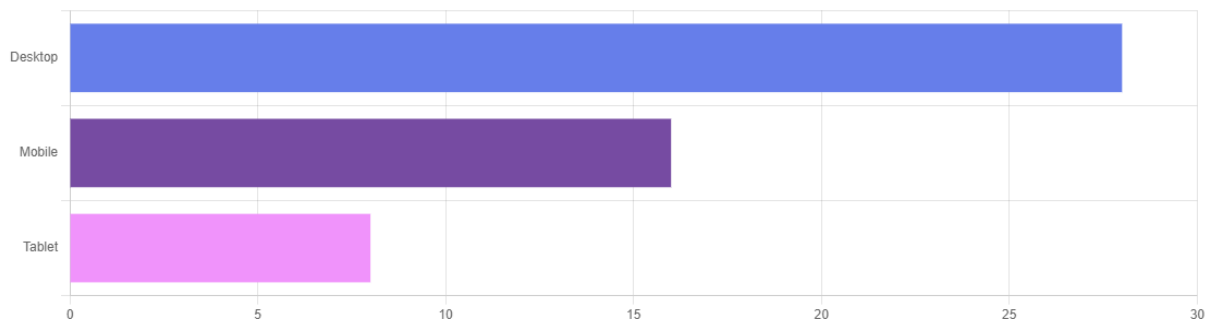


Рисунок 4.10 – Статистика розподілу за типами використовуваних пристроїв серед опитаних респондентів

Загальна кількість респондентів склала 52 особи, що забезпечило достатню статистичну вибірку для об'єктивної оцінки системи. Три основні показники – середня оцінка загального враження, готовність рекомендувати та загальний індекс задоволеності – показали однаковий високий результат 4,5 бала з 5 можливих (рис. 4.11).

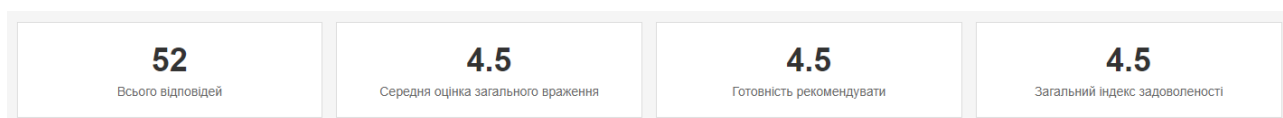


Рисунок 4.11 – Загальна оцінка системи, отримана в результаті опитування респондентів

Такі результати свідчать про високу якість реалізації віртуального туру та його успішне виконання поставлених завдань. Ця оцінка відповідає відмінному рівні згідно зі сформованими методологіями оцінювання.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської роботи на тему «Розробка та дослідження віртуального 3D-туру кафедри цифрових освітніх технологій» створено віртуальний 3D тур, який дозволяє демонструвати заклад освіти в цілому та кафедру ЦОТ зокрема.

Процес дослідження і роботи ґрунтувався на аналізі предметної галузі та наукових статей, присвячених питанню створення подібних турів. Аналіз предметної галузі показав, що питання створення 3D панорамних турів для представлення локації кафедри університету на сьогоднішній день в умовах повномасштабної війни є надзвичайно актуальними. Адже отримання повної візуальної інформації стосовно локаційної складової, інформації про учбові простори, а саме лекційні зали, комп'ютерні класи є необхідністю. Бо через питання безпеки багато з абітурієнтів чи їх батьків не мають можливості приїхати фізично на екскурсію в університет та ознайомитися з вищезазначеною інформацією.

Аналіз літератури та наукових праць дозволив сформулювати методології та метрики для формування функціональних вимог до системи та розрахунку метрик оцінювання якості розробленого веб додатку. Серед оглянутих технологій створення панорамних 3D турів була обрана та, яка є доступною мені, а саме було створено набір якісних панорамних фотознімків на фотокамеру, які в подальшому були оцифровані та реалізовані у вигляді панорамного 3D туру, який працює як веб додаток з використанням бібліотеки Pannellum, що реалізована на Java Script.

Розроблена система була завантажена на хостінг у відкритий доступ та оцінена шляхом проходження респондентами опитування, яке включало сформовані параметри на базі методології оцінювання якості програмного забезпечення. Подібна система тестування була розроблена окремо до магістерської роботи та дала змогу сформулювати оцінки якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Брон А., Лянг Б., Чен Ц., Ван Дж. Технології створення віртуального та змішаного середовища. Львів: Новий Світ-2000, 2018.
- 2 Буслова Н. С., Клименко Е. В., Пилипець В., Шешукова Л. А. Освітній музей у вузі: від предметної експозиції до предметної компетенції. Збірник наукових праць міжнародної конференції. 2014. С. 207–216.
- 3 Віртуальний тур по Харківському національному університету радіоелектроніки: електронний ресурс. URL: <https://maps.app.goo.gl/gtUDAFhbA2dR2di86> (дата звернення: 19.11.2025).
- 4 Ганієва А. Р. Застосування 3D-моделювання у створенні історичного середовища: навчальний посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2022.
- 5 Экстранд М. Д., Рідл Дж. Т., Констан Дж. А. Системи рекомендацій на основі колективної фільтрації. Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction. 2011. Т. 4, № 2. С. 81–173. DOI: <https://doi.org/10.1561/1100000009>
- 6 Коваль А. М. Роль JavaScript у розробці веб-додатків. Redstone. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://redstone.media/rol-javascript-u-rozrobtsi-veb-dodatkiv> (дата звернення: 16.11.2025).
- 7 Кукса І. М. Використання методів цифрової реконструкції для відтворення архітектурних об'єктів. Київ: Ліра-К, 2021.
- 8 Мадзігон В. М., Дорошенко Ю. О. Інформатизація середньої освіти: програмні засоби, технології, досвід, перспективи. Київ: Наукова думка, 2003. С. 17.
- 9 Масовець О. А. Історія створення віртуальних турів. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Управління ресурсним забезпеченням господарської діяльності підприємств реального сектору економіки». Полтава: РВВ ПДАА, 2018. С. 131–133.

- 10 Масочутський технічний університет. MIT Virtual tour: електронний ресурс. URL: https://web.mit.edu/vrtour/n1_index.html (дата звернення: 10.11.2025).
- 11 Мацик О. С. Window: localStorage property – Web APIs | MDN. MDN Web Docs. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Window/localStorage> (дата звернення: 16.11.2025).
- 12 Потапюк Л. М., Масовець О. А. Застосування технологій віртуальної реальності в освіті. Сучасна наука та освіта: зб. матеріалів наук.-практ. конф., 22 листоп. 2018 р., м. Володимир-Волинський. Луцьк: Волинь поліграф, 2018. С. 338–343.
- 13 Рєпіна І. М. Розвиток панорамного туру як складової віртуальної екскурсії. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022.
- 14 Статистика використання бібліотеки Pannellum: електронний ресурс. URL: <https://trends.builtwith.com/ru/javascript/Pannellum>
- 15 Статистика використання Google Maps: електронний ресурс. URL: <https://trends.builtwith.com/ru/mapping/Google-Maps>
- 16 360 Degree Camera Statistics 2025 By Immersive Technology: electronic resource. URL: <https://scoop.market.us/360-degree-camera-statistics/>
- 17 Adobe. Learning resources, Creative Cloud tutorials. Electronic resource. URL: <https://helpx.adobe.com/ua> (accessed: 10.11.2025).
- 18 Boboc R. G., Băutu E., Gîrbacia F., Popovici N., Popovici D.-M. Augmented reality in cultural heritage: an overview of the last decade of applications. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 19. 9859. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12199859>
- 19 Boulos M. N. K., Hetherington L., Wheeler S. Second Life: an overview of the potential of 3-D virtual worlds in medical and health education. *Health Information & Libraries Journal*. 2007. Vol. 24, No. 4. P. 233–245.

- 20 Choosing Between a Matterport Virtual Tour and Google 360 Tour. URL: <https://www.immersivewalkthroughs.com/matterport-virtual-tour-vs-google-360-tour/> (accessed: 17.11.2025).
- 21 Cui J., Fu L. Multimedia display of wushu intangible cultural heritage based on interactive system and artificial intelligence. *Soft Computing*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08481-6>
- 22 Dai F., Zhu C., Ma Y., Cao J., Zhao Q., Zhang Y. Freely explore the scene with 360 field of view. 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces. IEEE, 2019. P. 888–889.
- 23 Danny Han D.-I., Tom Dieck M. C., Jung T. Augmented Reality Smart Glasses visitor adoption in cultural tourism. *Leisure Studies*. 2019. Vol. 38, No. 5. P. 618–633.
- 24 Gil J., Martínez Torres J., González-Crespo R. The Application of Artificial Intelligence in Project Management Research: A Review. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2021. No. 6 (6). P. 54.
- 25 Google Maps Statistics 2025: Navigation, Business Integration, and More. URL: <https://sqmagazine.co.uk/google-maps-statistics/>
- 26 Guttentag D. A. Virtual reality: applications and implications for tourism. *Tourism Management*. 2010. Vol. 31, No. 5. P. 637–651.
- 27 Hrabovskyi Y., Bondarenko D., Kobzev I. Improving the technology for constructing a software tool to determine the similarity of raster graphic images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1, No. 2 (127). P. 16–25.
- 28 Hrabovskyi Ye. M., Bondarenko D. O., Ushakova I. O. Usage of adaptive design technologies for the designing of a web application for analysis of the efficiency of solar panels. *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University*. 2024. Vol. 35 (74), No. 1. P. 118–126.

- 29 Hrabovskiy Y., Yevsyeyev O. Development of methods of creating the interface of the interactive edition. *Polygraphy and Publishing*. 2021. No. 2 (82). P. 117–127.
- 30 Kim Y. Interpretability beyond feature attribution: Quantitative testing with concept activation vectors (TCAV). *International Conference on Machine Learning*. 2018. P. 2673–2682.
- 31 Koo S., Kim J., Kim C., Kim J., Cha H. S. Development of an augmented reality tour guide for a cultural heritage site. *Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2020. Vol. 12, No. 4. P. 1–24.
- 32 Li J., Nie J. W., Ye K. Evaluation of virtual tour in an online museum. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17, No. 1. e0261607.
- 33 Litvak E., Kuflik T. Enhancing cultural heritage outdoor experience with augmented-reality smart glasses. *Personal and Ubiquitous Computing*. 2020. Vol. 24, No. 6. P. 873–886.
- 34 Microsoft. Documentation for Visual Studio Code. Electronic resource. URL: <https://code.visualstudio.com/docs> (accessed: 19.11.2025).
- 35 Moon C. B., Lee J. Y., Kim B. M. A Fuzzy-Based Multimedia Content Retrieval Method Using Mood Tags. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2022. No. 7 (7). P. 65.
- 36 Pan S., Gu X., Chong Y., Guo Y. Content-Based Hyperspectral Image Compression. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2022. No. 7 (5). P. 85.
- 37 Pannellum: Documentation. Electronic resource. URL: <https://pannellum.org/documentation/api> (accessed: 05.12.2025).
- 38 Pindor M. Interactive panoramas: Techniques for virtual reality and web visualization. Berlin: Springer, 2020.
- 39 Tan K. L., Lim C. K. Digital heritage gamification. ICAST'17, Malaysia, 2017. P. 020139.

- 40 Virtual Tour Software Market Size, Share, Trends & Forecasts 2025–2032. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/virtual-tour-software-market-106811>
- 41 Virtual Tour realizzato con Pannellum ed integrazione LeafletJS. URL: <https://archaeopresspublishing.com/ojs/index.php/groma/article/view/2425>
- 42 Visitor Information of Stanford University. Electronic resource. URL: <https://visit.stanford.edu/tours/virtual/walk.html> (accessed: 05.12.2025).
- 43 Visual Studio Marketplace. Live Server. Electronic resource. URL: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ritwickdey.LiveServer> (accessed: 01.11.2025).
- 44 Vlahakis V. et al. Archeoguide: first results of an augmented reality system. ACM, 2001. P. 131–140.
- 45 YuXin Cai, Haibin Dong, Wei Wang, Hongchang Song. Interactive animation creation based on AI technology. *Computational Intelligence*. 2021. Vol. 38 (1). P. 51–69.
- 46 Zihang Dai et al. Transformer-XL: Attentive language models beyond a fixed-length context. 2019. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.02860>

ДОДАТКИ

Додаток А

Візуалізація складових компонентів 3D туру

